Коллеги, доброе утро!

Я опять с вами. Я с вами уже встречался. Рассказывал о интересных проектах и о людях. Но наша сегодняшняя встреча, она необычная. Я бы её назвал философской. Она такая околонаучная.

Я утверждаю, что в каждой науке ровно столько науки, сколько в ней математики. Вот почему химия никогда не станет наукой, но в лучшем случае останется искусством или умением синтезировать Иммануил **КАНТ**

Химия божественна как послание Святого Августина. И если математика когда-нибудь проникнет в химию, то это приведёт к быстрому и повсеместному разрушению этой науки Огюст **КОМТ**

Иммануи́л Кант (22/04, 1724 - 12/02, 1804) **Auguste Comte** (19/01, 1798 – 5/09, 1857) естественная, но вот поскольку языком естественных наук является математика, то в сегодняшней лекции будет много формалистики и уравнений. У меня к вам сразу же просьба. Эти уравнения, они такие многоэтажные, не читайте их, а я буду к ним отпускать короткие комментарии, и вы просто комментарии слушайте. То, что это уравнения верные, ну вы поверьте мне на слово, я их честно переписал из учебников это не мои уравнения.

Значит, вот теперь давайте посмотрим название лекции

Многие физики трудятся над созданием великой картины,
объединяющей все в одну супермодель. Это восхитительная
игра, но в настоящее время игроки никак не договорятся
о том, что представляет собой эта великая картина.
R. Feynman (частная беседа)

It always seems odd to me that the fundamental laws of nature,
when discovered, can appear in so many different forms that
are not apparently identical at first, but, with a little mathematic
fiddling you can show the relationship.
Richard Feynman Nobel Lecture **1965**.

Richard Phillips Feynman (11/05, 1918 –15/02, 1988)

Fundamental Unity of the Natural Sciences

Vasili Dimitrov

Professor (Emeritus) in Chemical Physics,
Faculty of Exact Sciences, Department of Geophysics and Planetary Sciences,
Tel-Aviv University, Israel *vasili@tauex.tau.ac.il*

Workshop on non-equilibrium dynamics of large systems

Japan, Hakodate University, January 2005

Вот как называется наша сегодняшняя лекция. Она называется

«Фундаментальное единство естественных наук».

Вот, вы видите, замечательный портрет, очень приятный, это Фейнман. А вверху вы видите две цитаты.. «Многие физики трудятся над созданием великой картины, объединенной все в одну супермодель».

Это восхитительная игра, но в настоящее время игроки никак не договариваются о том, что представляет собой эта великая картина.

Но, собственно, мое выступление как раз посвящено этой идее. Я попытаюсь вам показать, как выглядит эта картина в моем представлении. А вот вторая цитата, я ее специально не переводил, это просто цитата из нобелевской речи. Я вам не переведу, а сделаю интерпретейшн, объяснение того, что Фейнман сказал. Смотрите, что Фейнман сказал.

Это не перевод, это не translation, это interpretation. Меня всегда удивляло, что научные открытия различной формы имеют математическую запись, но, несложными преобразованиями можно показать, как одно уравнение превращается в другое. Вот видите, что Фейнмана удивляло. Если вы запишите ее мнение, то его можно выразить как -то по - другому. Я эту лекцию сделал давно, в пятом году, и она вызвала оживленную дискуссию, там даже был такой скандал.

За меня неожиданно вступился председатель вот этого *семинара.* Председателем был замечательный человек, его фамилия Ли Ю Дже. лауреат Нобелевской премии. Он президент академии наук Тайваня Мне было дано opening speech, открытая речь, вступительное слово. Когда на меня публика набросилась, он вдруг встал на мою защиту. Начал за меня отвечать. Теперь я перейду к делу. Я вам сказал, что языком естественных наук является математика. Она записывается в виде уравнение, и тут есть две особенности. Вот я ее просто поясню на примерах.

Второй закон Ньютона я хочу увидеть.

$$\mathbf{F = m*a}$$

Сила равняется произведению массы на ускорение.

$$a = dV/dt$$

$$F*(dt) = m*(dV)$$

Импульс силы равен количеству движения.

Посмотрите, перед вами второй закон Ньютона. Как мы его читаем? Его можно пересчитать вот так, как написано. Сила равна произведению массы на ускорение. Я его читаю по - другому. Я вспоминаю, что ускорение – это изменение скорости по времени. И вот видите нижнее выражение. F dT равняется mdV.

То, что стоит слева, называется импульсом силы, а то, что стоит справа, называется количеством движения. Поэтому я для себя считаю второй закон, как импульс силы равен количеству движения.. Я его читаю так. Вторая особенность в математике состоит в том, что Фейнман сказал, что у вас очень разные уравнения, но они могут описывать одно и то же. Почему так получается? Когда вы следите за каким -то явлением, вам надо выбрать то, за чем вы следите. Или оператор. Я могу выбрать качество оператора любой характерные свойства процесса. Я могу выбрать скорость, могу выбрать импульс, могу выбрать энергию. То есть я могу выбрать все что угодно. Это примерно похоже на то, что у вас есть предмет, на который вы смотрите с разных сторон. Слева, справа, снизу, сверху, как угодно. Тогда в зависимости от того, какой оператор вы выберете для описания вашего явления, вы будете получать разные формы уравнений. И вот вам вторая особенность в математике.

Уравнения Навье(1821) - Стокса(1845)

Hydro/gas-dynamics

Нестационарное несжимаемое невязкое течение $\upsilon\Delta^2 u \equiv 0$

Статистическое представление (в рамках первичных и вторичных столкновений Больцмана, вывод Чепмена-Энскога 1916)

$$f_i^{(0)}\left[\frac{n}{n_i}(b_i v_i) + \left(b_i \frac{\partial}{\partial r} v_0\right) - \left(\frac{5}{2} - w_i^2\right)\left(v_i \frac{\partial \ln T}{\partial r}\right)\right] = \\ = \sum \iiint f_i^{(0)} f_j^{(0)} \left[f_i^{(1)} + f_j^{(1)} - f_i^0 - f_j^0\right] \cdot g_{i,j} \cdot b \cdot db\, d\varepsilon\, dv_i \qquad \textbf{(1)}$$

Аналитическое представление (через **контравариантный ротор-вектор** и его дивергенцию по Навье 1821))

$$\frac{d(\rho u)}{dt} = \vec{I} - \frac{1}{\rho} gradP + \upsilon\Delta^2(\rho u) + \frac{1}{3}\upsilon \cdot grad\left[div(\rho u)\right] \qquad \textbf{(2)}$$

Аналитическое представление (через координатные проекции **ротора-вектора** скорости на пространственные оси по Стоксу 1845)ρ

$$\frac{du}{dt} = \sum X_{pot} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + \upsilon\Delta^2 u + \frac{1}{3}\upsilon\frac{\partial}{\partial x}\left[div(\rho u)\right]$$
$$\frac{dv}{dt} = \sum Y_{pot} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} + \upsilon\Delta^2 v + \frac{1}{3}\upsilon\frac{\partial}{\partial y}\left[div(\rho u)\right] \qquad \textbf{(3)}$$
$$\frac{d\omega}{dt} = \sum Z_{pot} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z} + \upsilon\Delta^2 \omega + \frac{1}{3}\upsilon\frac{\partial}{\partial z}\left[div(\rho u)\right]$$

Уравнения Навье-Стокса справедливы при выполнении двух условий –
1. Среда должна быть сплошной (число Кнудсена) **Kn ≤ l**. КОНТИНУУМ.
2. Выполняется обобщенный реологический закон Ньютона

$$\mathbf{P_{i,j}=2\mu S_{ij}-p\delta_{i,j}}$$

Ну сейчас я вас сильно насмешу. Смотрите, уравнения 1, 2 и 3. Они совершенно не похожи друг на друга. Видите, это все замечательное *уравнения Навье Стокса. Уравнения гидрогазодинамики.*

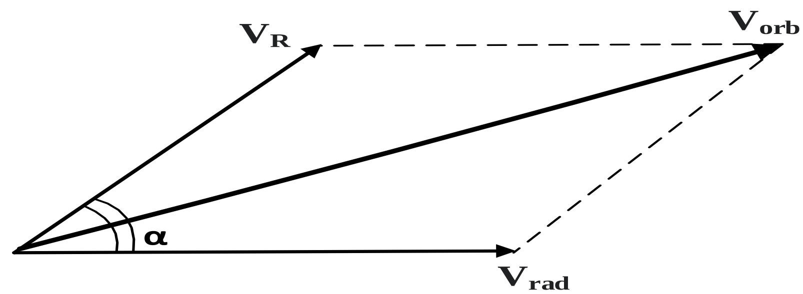
Но в первом уравнении вы видите вообще какие -то непонятные буквы. Там стоят fi, fj. В втором уровне ничего этого нет. Там появляются какие -то другие математические значки. Вон написано grad. Это вектор -градиент. Вон написано div. Это дивергенция, то есть поворот вектора. Это совсем другая запись. Через так называемый контр -вариантный ротовектор. Вот третья запись. Она по существу представляет вторую запись, которая спроектирована на оси. Это координатная запись. Но это все одно и то же. Но уровни совершенно разные. Разница вот в чем состоит.

Первое уравнение Больцмана, состоит в том, что вы выбрали оператором само взаимодействие между частицами. И значки математические, которые стоят в этом уравнении, относятся к микроскопическому уровню. Там фигурируют размеры молекул, расстояние между ними, межмолекулярный потенциал и прочие вещи. А вот 2 и 3, это другой оператор. Тут уже Навье, и Стокс, следили за оператором, который называется ρu , это импульс. И поскольку они описывали не одиночные молекулы, они описывали коллектив или ансамбль, как мы говорим, что значки математически остались те же, но в них появился новый физический смысл. И здесь я хочу сказать вам пару слов об очень важном явлении. Когда вы рассматриваете какой -то процесс, очень важно понимать, в каком масштабе вы находитесь, в микроскопическом или в макроскопическом. В микроскопическом масштабе описывая явление вы фигурируете молекулярными понятиями, но в макроскопическом вы фигурируете другими понятиями. В разных масштабах эти понятия не существуют. Я просто объясню свою мысль. Перед вами стоит стакан с водой. Я могу сказать, что эта вода мокрая. *Вода – это H_2O*. Я не могу сказать, что молекула воды, что она мокрая. Ну нет, конечно, это глупость. Вот в этом стоит стакан с апельсиновым соком, он желтый. А я могу сказать, что молекула желтая? Тоже нет. На микроскопическом уровне такого понятия нет. Молекулы бесцветные. Они не имеют цвета. Это как -то тяжело понять, но можно. То есть на макроскопическом уровне появляются понятия, которых не существует на микроскопии и говорить о таких, скажем, вещах макроскопических, как вязкость. Вот у меня два стакана – вода льётся хорошо, глицерин – плохо. Я говорю, что жидкость вязкая. Но ни одной молекулы такого понятия нет. То, что мы называем транспортными коэффициентами, тепло*проводность,* поверхностное натяжение, вязкость, ну и так далее, на микроскопическом уровне этих понятий нет. Тогда, когда вы переходите от микроскопии к макроскопии, у вас формалистика остаётся та же самая. Но те математические буквы, которые стоят, они приобретают новый физический смысл.

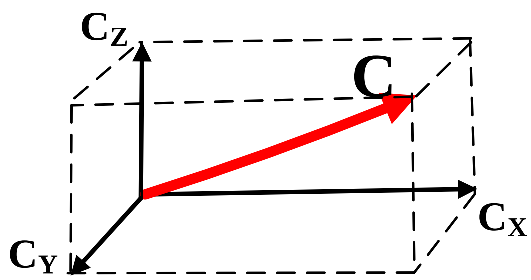
И если вы физик, который занимается преобразованием математических уравнений, то вы должны держать в голове, что у вас появляется новое представление тех формальных элементов в математике, которыми вы оперируете. Вот перед вами пример *разных* уравнений, которые числится в совершенно одном и том же явлении.

Еще одно замечание, которое я хочу вам показать,

Ковариантный вектор орбитальной скорости $\mathbf{V}_{\mathbf{orb}}$



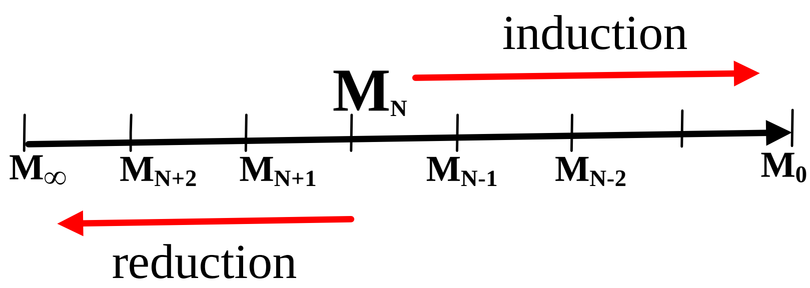
Контравариантный вектор концентраций **C**



Я только что сказал непонятные слова, контр - вариантный вектор, я объясню, что это такое. Для математиков вектора, они и есть вектора, но естественники, физики, делят вектора на два больших класса. Вот вверху вы видите рисунок. Представьте себе, что у вас тело вращается вокруг другого тела, по орбите. Оно не улетает и не падает, оно вращается. У него есть скорость. Вот видите, посередине большая равно*действующая* В орбитальное.

А почему тело не падает и не улетает? Ну понятно почему, потому что в любой точке траектории у вас есть равенство центростремительных и центробеженых сил, и у вас есть равенство скоростей, инерциальная скорость, *Vp*, вот написанная вверху и слева, стремится тело удалить, центробежная скорость, стремится его посадить на тело, а равнодействующая удерживает V -орбитальное, вы имеете довольно любопытную ситуацию, V -орбитальное это то, что мы видим, можем понюхать, пощупать, измерить, это реальная вещь. А вот проекции Vr и V радиальное, они вообще, говоря, физического смысла не имеют, по той и простой причине, что они отдельно не существуют. Они возникают только в паре. Но вот нет V радиального отдельно. То есть, понимаете, у вас вектор имеет физический смысл, а его проекции нет. Нам удобно, поэтому мы раскладываем формально. Но их нет. Вот такие векторы называются ко -вариантные. А вот внизу у вас другой пример. Вот представьте, у вас банка, там три вещества, X, Y и Z концентрации. Я могу поставить вектор, видите, вон, красненький.Но этот вектор смысла не имеет. Он же мне не дает состава. Вот проекции вектора имеют смысл. Проекция на оси X – это координация вещества X. НаY– это Y. На Z – это Z. То есть я имею ситуацию, когда вектор не имеет физического смысла, а вот его проекции имеют совершенно ясное физическое определение. Вот эти вектора называются контрвариантными. Ну вот это такое напоминание по дороге. А теперь я хотел еще два последних напоминания сделать и перейду к лекции. Но эти вступления необходимы, чтобы полностью ее понять.

05



«Человеческое понимание не черпает законы природы из природы, но навязывает их природе. Остаётся понять, откуда к человеку приходит научная гипотеза? »

Эммануил Кант:

Есть такой замечательный раздел в математике, он называется логика, математическая логика. Перед вами примитивный рисунок, видите, буква m, это у вас есть какая -то модель, , какой -то процесс, вы выбрали какой -то оператор, к этому уравнению *процесса,* к этому уравнению вы записали то, что мы называем начальные и граничные условия. Начальные и граничные условия – это ограничение на задачу, то есть вы говорите, что у меня протекает процесс, который описывается вот таким -то уравнением, и он справедлив при таких -то условиях.А если вы выйдете за эти условия, ваша модель несправедлива*. Вы, честно, оговариваете постановку задачи..* Теперь представьте себе, что я в модели Mn, вот *посередине большими буквами* , добавил еще одно ограничение. Что у меня получится в решении? У меня получится новое решение. Вот видите Mn_{+1} Я двинулся влево от модели M. Если я наложу еще одно ограничение, то я получу частный случай, который будет являться частным случаем от модели Mn.

Если я добавлю еще одно ограничение, вот Mn_{+2}. Ну еще одно ограничение. Модель Mn_{+2} это частный случай модели Mn_{+1}. Ну вот если я бегу влево, это редукция. Это метод математической логики. Когда вы от общего идете к частному это называется редукция. Но вы можете побежать в другую сторону. У вас есть модель Mn, у вас есть ограничение. И я какое -то ограничение снял.Тогда я должен получить более общий случай. Видите, Mn_{-1}. Это снято одно ограничение, я получаю более общий случай, из которого теперь Mn – это мой частный случай. Если я наложу еще одно ограничение, вот M_{n-2}, я возойду к еще в более общем случаю. Вот если я буду бежать от моей задачи направо, такой метод логики называется индукцией. Значит, логика комбинируя индукцию и редукцию, может у вас преобразовать одни ограничения в другие, и некоторые из них будут более общими, но некоторые будут частными случаями.

Ну вот здесь внизу любопытная цитата Канта, вы ее прочтите, но я ее пообсуждаю позже, она будет важна, когда я вам покажу финальный рисунок. Вот и последнее напоминание, очень важное, состоит вот в чем.

06

Hydro/Gas - dynamics

Навье-Стокс *non-steady* flow of *incompressible* and *inviscid* fluid $\upsilon\Delta^2 u \equiv 0$

$$\frac{du}{dt} = \sum X_{pot} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + \upsilon\Delta^2 u + \frac{1}{3}\upsilon\frac{\partial}{\partial x}[div(\rho u)]$$
$$\frac{dv}{dt} = \sum Y_{pot} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} + \upsilon\Delta^2 v + \frac{1}{3}\upsilon\frac{\partial}{\partial y}[div(\rho u)]$$
$$\frac{d\omega}{dt} = \sum Z_{pot} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z} + \upsilon\Delta^2 \omega + \frac{1}{3}\upsilon\frac{\partial}{\partial z}[div(\rho u)]$$

Рейнольдс. Нестационарное течение невязкой жидкости, добавлены ограничения на *несжимаемость*

$$\frac{du}{dt} = \sum X_{pot} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}$$
$$\frac{dv}{dt} = \sum Y_{pot} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}$$
$$\frac{d\omega}{dt} = \sum Z_{pot} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z}$$

Эйлер. Добавлены ограничения на *нестационарность* – основное уравнение гидростатики

$$\sum X_{pot} = \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}$$
$$\sum Y_{pot} = \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}$$
$$\sum Z_{pot} = \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z}$$

Бернулли. Наложены *пространственные* ограничения (течение в трубе)

$$H + \frac{v^2}{2g} + \frac{P_{st}}{\rho g} \equiv Const$$

Торричелли. Истечение *идеальной* жидкости через *идеальное* отверстие

$$v = \sqrt{2gh},$$

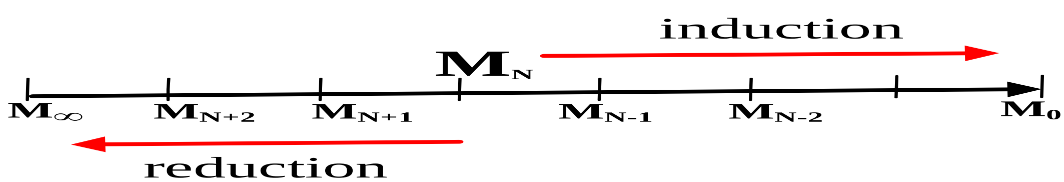
Итак, когда вы переходите от микроскопии, к макроскопии, то у вас меняется физический смысл. Математические крючки, они остаются те же самые икс, игрек, альфа, бета, но меняется их физический смысл.

Так вот, когда вы перешли к макроскопическому описанию и стали действовать с *ротор градиентом* , то вы получили знаменитое уравнение Навье -Стокса, вот они вверху. Самая первая запись этого уравнения. Но теперь представьте себе, что я двинусь по пути редукции, то есть я пойду влево. Я на Навье -Стокса наложу одно ограничение. *Навье -Стокс справедлив при условии- нестационарный, сжимаемый, вязкий поток. А теперь я накладываю ограничение на нестационарность. Я говорю поток у нас нежимаемоый.*

Смотрите, что происходит с уравнениями. У вас вылетают правые два члена, которые учтены в сжимаемости. Ведь остается du/dt, ,∑x, dP/dx. Два правых члена просто улетят,и я их выбросил. И что я вижу это уравнение Рейнольдса . Частный случай Навье-Стокса.. А теперь представьте себе, что я введу ограничение на нестационарность. Я скажу, у меня поток стационарный, наложил ограничение. Вы видите, у меня улетает левая часть d… /dt, они обращаются в нуль. Остается правая часть, ну тривиальное преобразование, И что вы видите, вы видите Эйлера.Если вы наложите на начальные условия еще одно ограничение, ну до сих пор мы рассматривали ансамбль, вот представьте, что у вас течение в трубе. Я наложу ограничения в реальной трубе. Когда у вас поток течет, то у вас тот слой молекул, который прилипает в трубе, он неподвижен, из-за трения . И вот на все это дело я *наплевал*, вязкость и сжимаемость я учитываю, а нестациональность нет. И что мы получили?

Если имели уравнение Эйлера, то получили бы уравнение Бернули. *Вот* Бернули. Физически смысл этого уравнения более чем прозрачен. H- внешние силы можно забыть. Второй член $V^2/2g$ – это кинетическая энергия по существу. А третий член – потенциальная энергия. Если у вас потенциальная энергия вся реализуется в кинетику, то у вас первый и третий член улетают. Вместо слова «константа» вы пишете «H», и вы получаете уравнение $V=\sqrt{2gh}$, но это уравнение Торичелли . Оно описывает истечение идеальной жидкости через идеальные отверстия. Или движение по идеальной трубе.

У вас нет ни вязкости, вы все это задушили, ни сжимаемости, ни диссипатии, ничего. Все ограничения, какие только можно было наложить, я наложил, и получил уравнение Торичелли . **То есть вот я по пути редукции от Навье -Стокса спустился к уравнению Торичелли .**



Torricelli ↔ Bernoulli ↔ Euler ↔ Reynolds ↔ Navier-Stokes↔ ↔ Liouille

Видите, это предыдущий слайд , но теперь я его отдел на газодинамику. Вот от Mn, для меня это был Навье -Стокс, и двигаясь M_{+1} и так далее, я от Навье -Стока пошел к Рейнольдсу, Эйлера, Бернули ,Торичелли . Ничего умного я не сделал, я просто занимался формальным преобразованием уравнения.

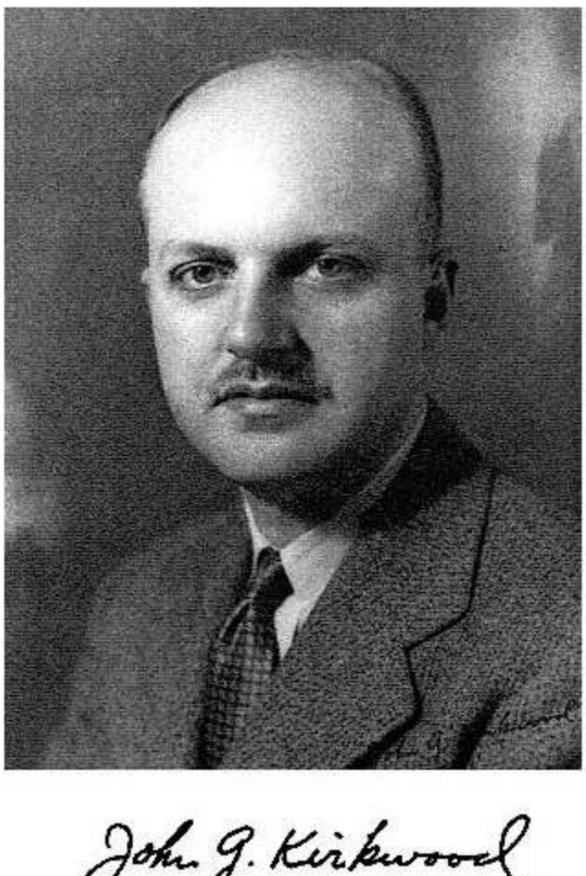
Направо пока не смотрите. Там написано Лиувиль, но мы к этому сейчас придем, вы пока не смотрите. Уравнение Бернулли , оно устанавливает зависимость между скоростью стационарного потока жидкости и ее давлением. Вы видите, как математическая логика позволяет редуцировать или индуцировать одни уравнения в другие. А последнее и самое важное, что я хочу сказать, это следующее.

В тысяча девятьсот шестнадцатом, и семнадцатых годах, два замечательных человека, Сидней Чепмен и Дэвид Энс Кок, показали, как можно перейти от микроскопического описания, где фигурируют микроскопические параметры, к макроскопическому, то есть к описанию ансамбля, где у вас появляются характеристики уже системы, но не молекул. Этот метод Чепена и Энс Кока, это важнейший шаг при переходе к описанию ансамбля.

То что мы видим вокруг, вся вселенная , так описывается. То есть Чепман и Энс Коки вывели уравнение гидродинамики из уравнения Больцмана через феноменологические или как мы будем называемые конститутивные, то есть через характеристики ансамбля. И выражения для коэффициентов переноса, в уравнении теплопроводности, вязкости   и прочей функции, они записали в терминах молекулярных параметров. То есть уравнение Больцмана регулирует динамику газовой среды в микроскопическом масштабе, а уравнение Навье-Стокса дает это же описание в большом м масштабе.

То есть, это переход от одной модели к другой. Вот вступительная часть моей речи закончена. Я перехожу к очень короткому докладу.

08



John "Jack" Gamble Kirkwood
19/06, 1897 – 9/10, 1967

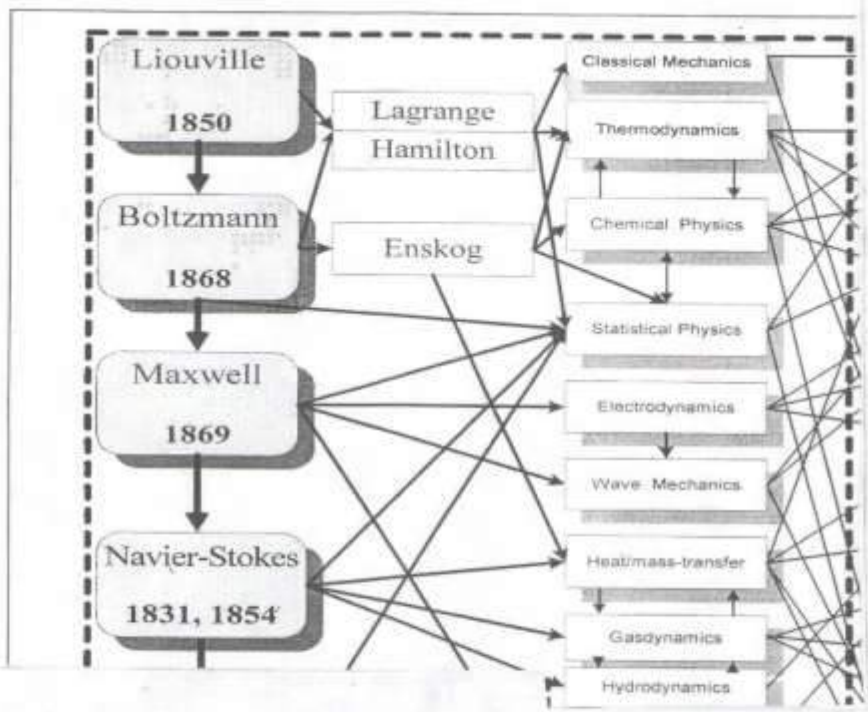
Sir Cyril Norman Hinshelwood
30/05, 1907 – 09/08, 1959

Перед докладом я вам хочу показать две замечательные фотографии. Вот слева Кирквуд. Джон или Джек, его иначе называли Гэмбл Кирквуд. Он очень интересный человек. Он сэр. Сэр Норман Хиншельвуд.

Посмотрите внимательно на эти два лица. Работа которую я вам докладываю , спровоцирована Кирквудом. Это он меня подтолкнул сделать эту работу. А с Хиншелвудом была очень смешная история, но я вам ее расскажу попозже, если будет время. Значит, вот два замечательных портрета. Ну а теперь к делу. Я перехожу к докладу,

Ну что произошло? В 1958 году Королевская Академия Наук в лице вот этого Хиншельвуда, пригласила Кирквуда сделать доклад на королевском научном обществе. Кирквуд приехал, и Кирквуд сделал доклад. Надо сказать, что королевское научное общество, то есть английская академия наук это очень не слабые ребята были. Там был Хоббард Флори, барон Стюарт Блейкетт, Хаксли, сам Хиншельвуд. То есть, там была серьезная публика. Но доклад, который сделал Кирквуд, потряс королевское научное общество, и, как я понимаю, они все попадали со стульев.

Почему они упали со стульев? Откуда я об этом узнал? Я прочитал в нашем главном журнале Science. Science раньше публиковал юбилейные заметки. Я прочитал юбилейную заметку к этому 58 -м году.Это было 40 –летие. И там было написано, что королевское общество очень удивилось. Но не было написано почему. Меня это заинтересовало. В общем, упуская все детали, я нашел тезисы доклада, который сделал Кирквуд. И они меня потрясли. А вот теперь можно показать следующий рисунок.



Liouville
1850
Boltzmann
1868
Maxwell
1869
Navier-Stokes
1831, 1854
Lagrange
Hamilton
Enskog
Classical Mechanics
Thermodynamics
Chemical Physics
Statistical Physics
Electrodynamics
Wave Mechanics
Heat/mass-transfer
Gasdynamics
Hydrodynamics

Да, вот рисунок, который Кирквуд показал королевскому обществу. А смотрите, что сделал Кирквуд. *Он показал, как, я надеюсь, всё читается, , как уравнения Больцмана можно редуцировать методами* скоба*, накладывая ограничения на Больцмана. У Больцмана оператором был импульс силы. А если убрать* $\rho_{и}$ *и следить только за изменением скорости, то у вас в один ход, в одно уравнение, получается уравнение Максвелла. В один ход, если вы будете следить только за оператором скорости. А если вы наложите ещё ограничение, у вас из Максвелла будет Навье Стокс.*

Вот видите левая картинка. Уравнения *Больцмана, ниже Максвелла, ниже Стокс, это редукция вниз.* И Кирквуд показал, что если сделать индукцию вверх, то выскочит уравнение Лиувиля. Вот левая колонка. Видите стрелочки внизу? А теперь, а что это за стрелочки вправо? Когда вы изучаете какую -то дисциплину, ну вот я, например, изучаю оптику. У меня есть соседние, граничные науки, есть акустика рядом, есть электромагнитизм слева. Новые знания возникают, когда вы действуете на границе прежних знаний.

Если вы будете накладывать ограничения не по одному, как в левой колонке сверху вниз, а по паре, одно оттуда, одно отсюда, то вообще произведете новое качество, вы произведете вообще целую группу задач, которые находятся на смежных областях. Вот из Лиувиля и Больцмана, вот вверху написано в колонке, вот туда, где стрелка указывает, классическая механика, термодинамика, третья, химическая физика. Вот от Больцмана чуть -чуть ниже идет стрелочка, написана статистическая физика, от Максвелла идет ровная стрелка направо, это электромагнетизм. или ниже волновая механика, *из Навье Стокса идут* стрелки, видите, тепломассобмен, газодинамика, гидродинамика. То есть, Кирквуд показал королевскому научному обществу, как формально, я подчеркиваю, забыв про физику, и манипулируя математическим аппаратом, все эти уравнения можно вывести одно из другое из другого. Что значит манипулируя? Ну, вот когда у вас все уравнение, вы его преобразуете, правда?

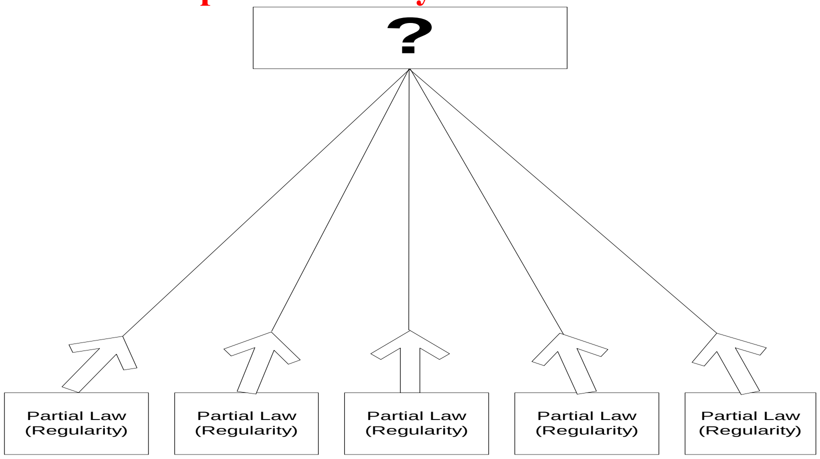
Вы можете перетащить правый член налево, левый направо, умножить уравнение на минус единицу, собрать подобный члены, уничтожить подобные. Если у вас какой -то неприятный член, можете его разложить по малому параметру. *Если у вас есть производная, то дифференцируйте, если интеграл возьмите*. То есть вы работаете с математическим аппаратом, вы его преобразовываете. Никакой физике здесь нет, здесь арифметика. Ну, математика. И вот Кирквуд показал, что можно математически получить вот такую картинку. Меня это поразило очень сильно. Я подумал, что если математически можно получить такую картинку для газодинамики, то может быть...

Покажите, следующее уравнение, пожалуйста.

10

Does the Universal Equation exist?

Уравнение Лиувиля **1850**



$$\frac{D\rho}{Dt} = \mathrm{div}\langle \rho, \Phi \rangle$$

$\frac{D\rho}{Dt} = \frac{d\rho}{dt} + \frac{\partial\rho}{\partial x} + \frac{\partial\rho}{\partial y} + \frac{\partial\rho}{\partial z}$ is substantial derivative

$div\langle \rho, \Phi \rangle = \left\langle \frac{\partial \rho}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial \Phi} + \frac{\partial \Phi}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial \rho} \right\rangle$ is Poisson angle brackets

$$\rho = \begin{cases} \textit{mathematially } \rho \text{ is frequency function (probability density function)} \\ \hline \textit{physically} \text{ it is } \textit{any} \text{ property (collision function, energy, impulse, moment)} \end{cases}$$

OPERATOR

Perturbation function **Φ** (***OPERATOR***) is the Poisson distribution function,

Вот видите, можно зайти к уравнению Лиувилля из газодинамики. Уравнение Лиувилля – это очень скверное уравнение. Есть его запись, которая занимает полстраницы. Я долго искал самую экономную запись. Вот нашел ее, видите, там внизу.

$$\frac{D\rho}{Dt} = \mathrm{div}\langle \rho, \Phi \rangle$$

Я вас призывал не читать уравнение, но пару комментов к этому уравнению я сделаю.

Вот стоит D большое, это производные. Это не обыкновенная производная и не частная D кривая. Это производная называется субстанциональный. Это производное по времени и по пространству, вот внизу написано. Дальше стоит ρ, что такое ρ? Ну, это ваш оператор. Это то, что вы выбрали, за чем следить за системой в физическом смысле. Вот внизу написано *physically*. Любое свойство, частота столкновения, энергия, импульс, моменты, что хотите.

А что такое ρ в математическом смысле? Вообще -то частота соударений, но в математическом смысле это функция плотности вероятности. То есть *под ρ* нужно понимать вероятность, если читать уравнение Лиувилля. Итак, левая часть говорит, что вероятность какого-то события любого, она имеет место, смотрите направо, div -это дивергенция, а угловая скобка тоже нехороший товарищ. Это так называемая скобка Пуассона. Я тоже не стал выписывать такое трехэтажное выражение, но смысл остынет в том, что это происходит во времени и пространстве.

То есть, если прочитать крестьянским языком уравнения Лиувиля, то оно считается очень просто. Изменение вашего оператора происходит во времени и пространстве. Ну, послушайте, это настолько тривиально. То есть, надо просто иметь крестьянский уровень и быть большим учёным, чтобы понять, что это так. Всё, что происходит, происходит во времени и пространстве, и все события влияют на любое событие. Ну, вот смешной пример. У меня в руке камень или зажигалка, я его бросаю, он падает.Я хочу посчитать время падения., Если я этот камень или зажигалку *бросил* днем, я получил одно время, а если я его *бросил* ночью, вообще -то говоря, я получил другое время падения. Почему? А ночью луна вышла. Ускорение на Земле уже слегка другое, это уже не 9 ,81. Разница появляется где -то там в 10 -15 -ом знаке. Но строго говоря, это уже другое. То есть, если я брошу зажигалку, на нее влияет не только положение Луны, но очень строго, на нее влияет то, что где -то взорвалась какая -то сверхновая звезда.

Всё влияет на всё. Это практически бессмысленное заявление, но уравнение Лиувилля настолько велико, что оно бессмысленно, оно не имеет смысла. Однако есть одна фишка, которая заставляет его держать в уме.

Рассмотрим следующее:

Potential energy is energy that enables to convert into another form of energy. It depends on **physical design** of the object and **position of system** $E_{pot} = E_0 + (mg)*h$ **Брахистохрона-** траектория скорейшего спуска

The function of the **canonical equilibrium** free Gibbs energy

$$G = = - RT*\ln (c_i/c^*) \qquad (1)$$

Time derivative for the single elementary reaction is of the form

$$dG/dt = -RT*\ln (c_i/c^*) = -RT*\ln K_{eq} = -RT*\ln (w^+/w^-) \qquad (2)$$

The function of **non-equilibrium** free Gibbs energy is of the form (***Zeldovitch, 1938***):

$$G_i = -RT*c_i*(\ln c_i/c^* -1) \qquad (3)$$

Time derivative for the single elementary reaction is of the form (***V. Dimitrov et al., 1977***)

al – ***V. Bykov, A. Gorban, G. Yablonsky***

$$dG/dt = - RT*(w^+ - w^-)\cdot\ln (w^+/w^-) \qquad (4)$$

1957)

Я не хотел углубляться в научные детали, но у нас научный семинар, и тут несколько слов надо сказать. Мы оперируем словом потенциал. Потенциал – это жаргон. Когда человек говорит «потенциал» – он имеет потенциальную энергию.

Потенциальная энергия – вещь очень хитрая, если вы откроете любой учебник, вы увидите, что потенциальная энергия равняется mgh. Ну, естественно, вот моя тетрадь или какой -то предмет лежит на краю стола. Я его чуть -чуть подпихнул, он упал, потенциальная энергия преобразовалась в кинетическую. Потенциальная энергия представляется как энергия, которая может быть преобразована в другую форму. Но, строгое определение говорит, что это не только это. Потенциальная энергия считается того, как устроена система. Система А, В, С имеет не ту потенциальную энергию, которая имеет система, например, С, А, В.

Изменение взаимных частей расположения системы приведёт к другой потенциальной энергии. Вот Вам очень кривая аналогия, но она поможет объяснить, чем дело. Когда моя книжка лежала на краю стола, мне нужно было только её чуть -чуть подпихнуть, и она падала. А представьте себе, что моя книжка лежит посередине стола. Я её чуть -чуть подпихнул, и что? Прямо ничего. Никуда она не упала. Если я хочу её спихнуть, я должен сначала подпихнуть до края стола. Но простите, я же на это затрачу работу.

Но она никак не выражается, это потенциальная работа, и на самом деле ваша потенциальная работа равняется не E= m g h, как во всех учебниках появились, а красненькое уравнение во второй строчке, Е равняется E_0 плюс mgh. Вот это E_0 это то, что вы потратите на изменение ситуации с потенциальной энергией и это конечно же надо учитывать, но не везде. В макроскопии это E_0 настолько дохлое, что можете про него смело забыть, и считать. Конечно просто E_0 равняется mgh, плевать мне,что *луна* вверху, внизу,просто mgh,

Но в физически естественных процессах это имеет значение. Вот представьте себе *контур* электрический. Я его замкнул. На конденсаторе появился заряд, но *отрицательный* заряд появился практически мгновенно. Электроны они очень шустрые. А ионы положительные, они малоподвижные. И они заряды на положительную стороне появятся чуть позже. Чуть. Время -то очень маленькое, но они придут с задержкой.

То же самое явление важно в химической кинетике. Когда у вас потенциальная энергия реализуется в энергию взаимодействия, то что у вас происходит? У вас есть молекула в основном в состоянии. Для того, чтобы молекула вступила в реакцию, она должна возбудиться, выйти на верхний уровень. Но это всё потенциальная энергия. Это ещё не кинетическая. И это возбуждение тоже требует усилия. Оно должно быть *усилено* как потенциальная энергия. Потом ваша молекула пройдёт в реакцию. Вот до того, как комментировать уравнени 3 и 4, я вам приведу ещё один пример, чтобы было всё ясно.

Кривая, аналогия. Представьте себе, что вы соревнуете со мной в беге на 100 метров. Вы сидите на старте, а я отошел, разбежался и бегу. В тот момент, когда я пересекаю стартовую черту , вы начинаете тоже бежать. Не надо быть очень умным, чтобы понять, что вы от меня отстанете. Я уже на крейсерской скорости, а вы только разгоняетесь. У меня потенциальные энергии уже полностью реализуются, а вы еще только подпихиваетесь к краю стола. Вот это явление очень важно в химической кинетике. И в классической химической кинетике, во всех учебниках, вы найдете, что взаимодействие… у вас химическая реакция А плюс В, и там что -то получается…Вы найдёте, что скорость реакции выражается через потенциальную, через свободную энергию Гиббса. Вот теперь внимание на уравнение 1. Это логарифм отношения текущих концентраций. Когда вы переходите из точки А в точку В, система имеет химическое превращение. А если вы возьмёте производную по времени, то вот оно, уравнение 2, будет написано dG/ dT. Изменение этого логарифма концентраций вы должны взять. Когда вы пойдёте в равновесие, то вот это отношение C к C*, будет иметь смысл отношения равновесных концентраций.Вот написано RT, ну про RT можно забыть, это нормирующий множитель.

$$dG/dt = -RT^*\ln (c_i/c^*) = -RT^*\ln K_{eq} = -RT^*\ln (w^+/w^-) \qquad (\mathbf{2})$$

The function of **non-equilibrium** free Gibbs energy is of the form (***Zeldovitch, 1938***):

$$\boldsymbol{G_i = -RT^*c_i^*(\ln c_i/c^* -1)} \qquad (\mathbf{3})$$

Time derivative for the single elementary reaction is of the form (***V. Dimitrov et al., 1977***)

al – ***V. Bykov, A. Gorban, G. Yablonsky***

$$\boldsymbol{dG/dt = - RT^*(w^+ - w^-)\cdot\ln (w^+/w^-)} \qquad (\mathbf{4})$$

Логарифм lnKeq. Это будет константа равновесия. Вот справа я синеньким дописал вот что . Константа равновесия – это отношение констант скоростей. Поэтому я записал справа синенькое уравнение. Его найдете, и оно важно к дальнейшему пониманию. Вот для того, чтобы учесть, что у вас энергия потенциальная не есть просто Mgh, я с приятелями очень давно нашли старую работу, представьте себе, Зельдовича где мы видели другую запись для потенциала. Вот уравнение 3.

Чем оно отличается? Ну, вот там вот, грубо говоря, есть этот самый учёт того, что потенциальная энергия у вас может быть находиться в форме, которая не позволяет её немедленную реализацию в кинетическую энергию. Вот видите, третье уравнение.

$$G_i = -RT^*c_i^*(\ln c_i/c^* -1).$$

G равняется, ну, RT можно бросить. с умноженное на логарифм, отношений с, $\ln c_i/c^* -1$. Вот вы можете читать логарифм отношений как метрику пространства. Это, грубо говоря, как метрика, если механику сравнивать. Это расстояние.

И вот я и мои коллеги, вон там ссылка, видите, 77 -й год, а у меня были замечательные коллеги: вот et al, это Altogether, вот видите, Быков, Валерий Быков, Горбань, Александр Горбань, Яблонский, Григорий Яблонский это мои коллеги. И нам пришла в голову простая мысль, мы просто тупо и *дружно* продифференцировали третье уравнение. Его можно дифференцировать, потому что оно отвечает требованиям уравнений Ляпунова. Не буду вдаваться в то, что это такое, просто потому что это непрерывное уравнение, оно имеет производные, там нет разрывов. И вот получилось потрясающее уравнение 4.

Time derivative for the single elementary reaction is of the form
(***V. Dimitrov et al., 1977***)al – ***V. Bykov, A. Gorban, G. Yablonsky***

$$dG/dt = -RT^*(w^+ - w^-)\cdot\ln(w^+/w^-) \qquad (4)$$

Значит, как его прочитать?

Вот то, что стоит справа под логарифмом, это расстояние. То есть это в метрике показывает, как ваше начальное состояние А находится далеко от конечного состояния В, *когда реакция прошла*. А $w^+ - w^-$ – это чистая скорость. Это вот как в примере с бегуном. То есть у вас изменение происходит по такому пути, что у вас произведение скорости, учет скорости и расстояния приводит к тому, что вы двигаетесь по совершенно определенной траектории. Путь из А в В может быть прямой, может быть через максимум миниум, или можете как -то вилять, но вы не будете вилять. Вы будете двигаться, (это уравнения химической кинетики говорят говорят), вот по этому пути, где у вас dG/dt минимально. Система очень хочет минимальные усилия затрачивать. Или у вас dS, если вы будете за энтропией следить, оно будет максимально, производство энтропии. Ещё одна кривая аналогия. Представьте себе, что у вас есть холм, ну, горушка, на горе озеро. И вы дали возможность воде стечь вниз.И там у вас много разных путей. Короткие, длинные, большие. Вода пойдёт даже, может быть, не в самое широкое русло, а в более узкое. Но она пойдёт таким образом, чтобы как можно быстрее досягнуть низа холма.

Значит, дайте следующий слайд.

 *e* 

Josiah Willard Gibbs (11/02 1839 – 28/04, 1903)   Théophile Ernest de Donder (19/08 1872 – 11/05 Appearing in front of de Donder is Paul Dirac . De Donder was Teacher of I. Prigogine.

Да, на этом снимке вы увидите, ну, вот это Великий Гиббс , это его уравнение один.

А вот справа, ну это имеет отношение к последующему рассказу, но я вам назову. Вот этот человек белым, который стоит на втором плане, это Де Донде. Великий человек, кинетик был такой. А на третьем плане, кстати говоря, Дирак. Вот этот вот Де Донде, он был учителем Ивана Пригожина (Пригожин лауреат Нобелевской премии) Видите ли , у нас околонаучный семинар. И мне очень хотелось вам показать <u>*Вам*</u> физиономии этих людей.

Да, давайте следующий снимок.

Chemical kinetics

$$W \Rightarrow \sim \prod_j^N C_i^{\nu} \Rightarrow A T^n \exp(-E/kT) \prod_j^N C_i^{\nu} \Rightarrow B\langle C\rangle^2 + C\{E,T\}^1 + C_0 \Rightarrow$$

Guldberg-Waage → Arhennius → Marcelin-De Donde → Riccati →

Уравнение Рикка́ти **dX/dt= A(t)X² + B(t)X +C(t)**

Electrochemistry

$$R = \frac{\rho l}{S} \Rightarrow W = \rho I^2 \Rightarrow U = IR \Rightarrow \ldots\ldots\ldots$$

Ohm → Joule - Lenz → Kirchoff →

Mechanics

F=m*a (Newton) →E=m*c^2 (Einstein) →S=k*lgW (Boltzmann) →

Да. Теперь смотрите, что получилось в химической кинетике. Когда я это дело сообразил, я взял уравнение Аррениуса. Видите, вот Аррениусс.

Уравнение Аррениуса основано на законе Гульберга Ваага или законе действующих масс, который говорит, что химическая реакция протекает порционально произведению концентрации там в какой -то степени. И потенциал там, внимание, гиббсовский. Но если поставить потенциал не гиббсовский, а вот тот, который мы произвели из уравнений Зельдовича, вот когда я это проделал, то я от Аррениуса индукцией в пришел к уравнениям, которые показались мне знакомые и я их где -то видел, и где я не мог вспомнить.

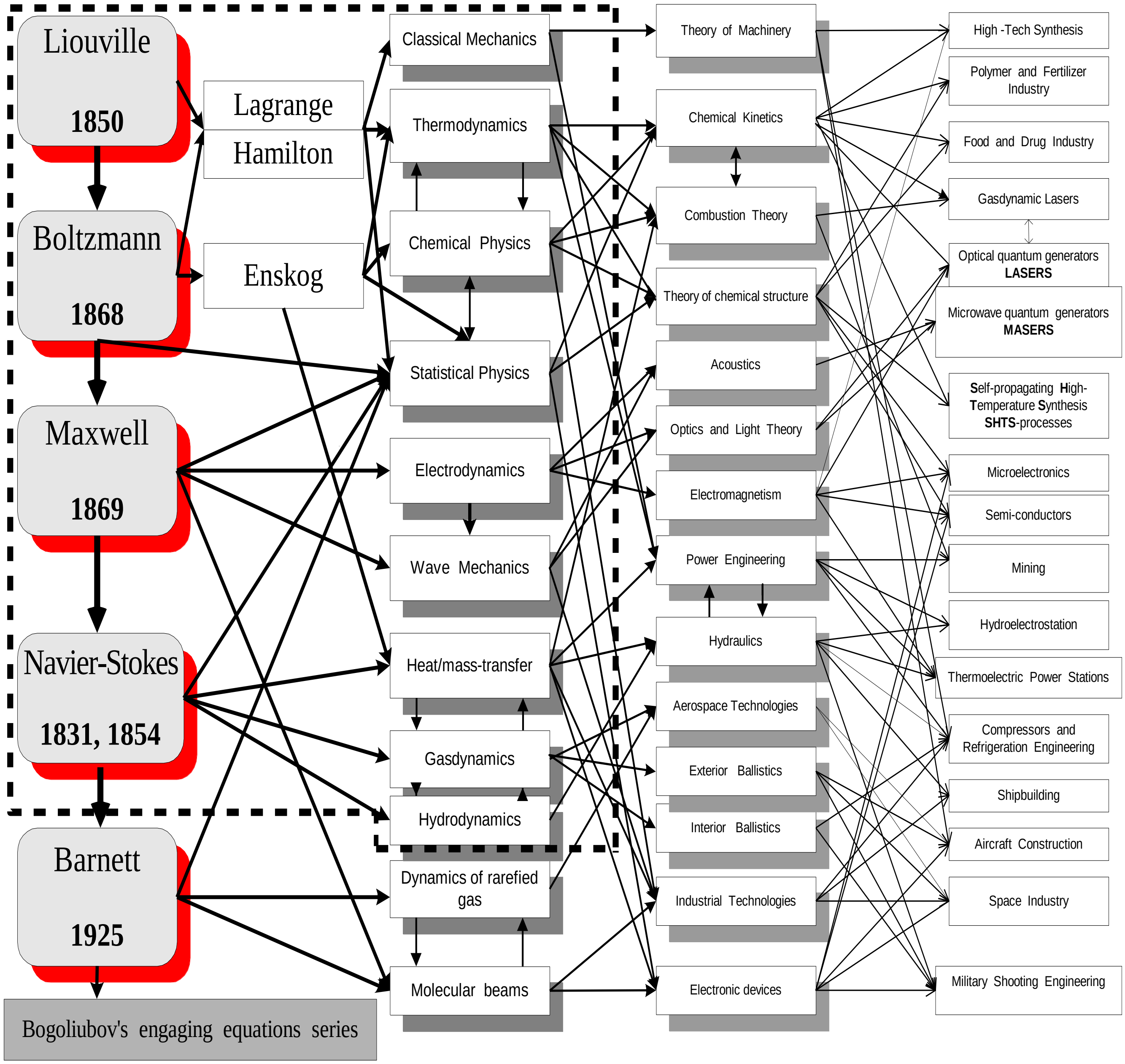
А потом в учебниках нашел, что была такая кинетика Де Донде, ну точнее там два автора, Марселини и Де Донде. То есть, есть кинетика Марселени Де Донде, у которой Арренус является частным случаем с ограничением потенциала. С ограничением потенциала, то есть в редукции от Марселени можно перейти к Арренеусу, а оттуда к закону действующих масс. Мне было интересно пойти дальше, но мои коллеги, с которыми мы сочинили этот потенциал, каждый из нас занимался своим делом. Ну вот Валерий Быков, он прекрасный аналитик, очень известный человек в мире катализа. Саша Гарбань.Он занимается математической логикой я, искусственным интеллектом. Яблонский, большой специалист по равновесию. Они с Быковым написали замечательную книжку «Путь к равновесию». Если кого -то интересует химическая кинетика, очень рекомендую почитать эту книжку. Ну, а я занялся своим вещами, меня интересовало, что случится по логике. И я индуктивно, ну, тут я очень долго возился, но мне в конце концов удалось, поверьте мне на слово, вообще нет, я могу показать формалистику, мне удалось уравнение Масолина преобразовать в уровнении Рикатти.

Уравнения Рикатти они очень похожи на обычные квадратные уравнения, только там ax^2+bx+c, ну как на биноме. Но только там коэффициенты перед неизвестным, они зависят от времени. Когда я дошел до Рикатти, ну я оттуда в три шага вышел в Больцмана. Ну а от Больцмана, что уже Кирквуд показал, что получился путь к Лиувиллю. Вот видите стрелочку направо. То есть я в химической кинетике проделал весь этот путь от самого примитивного случая до Лиувилля.

Тогда на меня пришла в голову другая мысль, а так ли это и я взялся за электрохимию. Ну, тут я быстро приду. Я вам скажу, что я от закона Ома быстро получил закон Киргофа, по дороге я получил уравнения Таффеля, уравнения Нернста. Чем отличается закон Киргофа от Ома, вам сейчас будет понятно, потому что я уже об этом говорил. Электроны и положительные ионы имеют разное время движения. Положительные ионы чуть позже заезжают, движутся по электрической цепи. Поэтому у вас, когда вы рассчитываете сопротивление в цепи, мы имеем дело с сопротивлением, которое мы называем омическим,u=ir вот написано. На самом деле это не так. Если вы будете учитывать полное сопротивление, оно называется волновым, то вы должны вы должны записать уравнения Кирхгофа , а там появляется к этому сопротивлению появляется волновой член, который как раз учитывает, что положительные ионы подходят позже. В электрохимии мне удалось, опять же, от самого примитивного Ома добраться до Лиувилля. Ну, признаюсь еще, что такой же фокус я проделал в механике, и признаюсь, что больше этим я не занимался, потому что мне стало ясно, что…

Наверное, если взять любую акустику, ну, любую отрасль знания, наверное, всё можно свести к уравнению Лиувилля. И вот тогда...

Ну, давайте следующий снимое.



Unity of Natural Sciences

И вот тогда я взял на себя нахальство. Вот видите пунктирную линию. Это та часть, которую Кирквуд показал потрясённому королевскому научному обществу. Почему Кирквуд не прошёл дальше, я не знаю. Убейте меня. А я решил пойти дальше. Я взял на Навье Стокса , наложил на него ограничение и получил уравнение , которого я никогда в жизни не видел.

Я кинулся в учебник, и узнал,что это уравнение Барнетта. Я думаю, вам видно, это последний квадратик в левой колонке. Написано Барнетт, 25 -й год. Но потом я с большим удовольствием нашел в библиотеке книжку, она называлась «Учебник по динамике разреженного газа». Оказывается, если ваш континуум не сплошная среда , есть такой индикатор, который называется показатель Кнудсена. Он показывает отношение вашего размера микрообъекта к расстоянию между объектами. Но если вы говорите об атомах, это отношение размера атома к расстоянию между атомами.

Кнудсен может иметь разные значения. Близко к единице, то есть у вас молекулы расположены друг к другу близко. Их расстояние *со*измеримо, ну, больше или меньше. Но соизмеримо с размером молекул. А может быть ситуация, когда у вас одна *материальная точка* от другой находится черт знает где. Это разряженный газ. Так вот, и вы переходите от континуума сплошного к разряженному газу. Так вот, левая колонка у меня получилась вот какая. И чтобы закончить с ней комментарии, я сказал вот что. Когда я на Барнетто наложил, ну, вот, примерно как в газодинамикее, все мысленные , и немысленные ограничения и диссипацию. Ну, в общем, всё учёл. Я получил очень смешную, смешное уравнение, смешное оно вот почему. Вот вы записываете взаимодействие между двумя частицами. Я выписываю честно все члены. Кинетическая энергия, потенциальная, ну, в общем, всё учитываю. В последнем члене у вас запись требует, чтобы вы учли взаимодействие вот этих двух частиц с третьей. То есть я должен написать следующее уравнение . Я пишу следующее уравнение . Опять потенциальный, кинетический, опять последний член, но теперь он требует написать взаимодействие этих уже трёх частиц с четвёртой.

То есть, вы понимаете, вы имеете бесконечную цепочку равнений. В науке она хорошо известна. Она известна под сокращением BBGKI. Это пять авторов: Боголюбов, Борн, Грин, Кирквуд, вот этот самый товарищ, и Айван, или Иван. Эта бесконечная цепочка уравнений, и она описывает вам любой процесс, в любой системе, при всех мыслимых и немыслимых ограничений, она хорошо известна в статистической физике. Вот левая колонка закончилась.

А что произошло справа? Ну, вот это сейчас Кирквудовская, видите, до газодинамики, гидродинамики. Когда я ее продолжил вниз, на стыке, Навье Стокса и так далее, то у вас возникает динамика газа. Вот последний квадратик во второй колонке. Это молекулярные пучки. Я не убежден, что вы считаете название в каждом квадратике. Но мой общий комментарий, вот в чем условится. Вот первая колонка, вот она, видите, Лиувилль Больцман, и так далее. Я для себя, для себя эти уравнения называю базовые. Это базовые уравнения.

Вторую колонку, которую вы видите, я ее для себя называю «Теоретические уравнения » или «Теоретические науки». Третья колонка, которая возникает, убежден, что у вас не считается, но вот тут написано «Теория машиностроения , химическая кинетика», «Теория горения», «Теория химических структур», «Акустика», ну и так далее. Я эти дисциплины назвал «прикладными». А последняя колонка, (тоже вы не читаете), но вот если сверху вниз.

Высокотемпературный синтез, вот это замечательное явление, но не могу рассказывать. Дальше написано лазеры, мазеры. Вот в самом низу у вас внешняя баллистика. Эту четвертую группу я называл инженерными дисциплинами. То есть у вас вот четыре колонки. Базовые, теоретические, прикладные и инженерные дисциплины. И что самое интересное, они между собой связаны. **Стрелочки показывают, как я, из любого квадратика, то есть из любой дисциплины, могу чисто формально, внимание, никакой физики нет.** Это мартышкино преобразование уровней.

Вы чисто формально можете получить любое другое уравнение. Я, например, из уравнений внешней баллистики могу редукцией подняться к Максвеллу . И наоборот. Могу уравнение Больцмана свести к высокотемпературному синтезу, если я буду двигаться редуксовано. Самое замечательное в этом знании, то, конечно, то, что едино, то, что естественные науки имеют общее, вверху слева король уравнение , «бессмысленное», Лиувилля, из которого все производится. А справа у вас конкретные науки. Вот такое здание построил я, вот так, как я его изучил.

Значит, вот я на этом закончу свой доклад. Значит, если возвращаться...

можно первый снимок показать название доклада?

Многие физики трудятся над созданием великой картины, объединяющей все в одну супермодель. Это восхитительная игра, но в настоящее время игроки никак не договорятся о том, что представляет собой эта великая картина.

R. Feynman (частная беседа)

It always seems odd to me that the fundamental laws of nature,when discovered, can appear in so many different forms that are not apparently identical at first, but, with a little mathematic fiddling you can show the relationship.

Richard Feynman Nobel Lecture 1965.

Richard Phillips Feynman (11/05, 1918 –15/02, 1988)

Вот видите, что удивляло Фейнмана? Давайте еще раз почитаем .

« Многие физики трудятся над созданием великой картины, введенной в одну супермодель. Восхитительная игра. Но в настоящее время игроки никак не договорятся о том, что представляет эта картина.»

Вот я ее для себя представил так.

А то удивление, которое есть в английской цитате Фейнмана, что преобразование можно формальными, математическими, можно одно уравнение превратить в другое, это я вам просто показал. Вот на этом мой доклад закончен.

Спасибо, у меня всё.

Fundamental Unity of the Natural Sciences

Vasili Dimitrov

Professor (Emeritus) in Chemical Physics,Faculty of Exact Sciences, Department of Geophysics and Planetary Sciences,

Tel-Aviv University, Israel ***vasili@tauex.tau.ac.il***

Workshop on non-equilibrium dynamics of large systems

Japan, Hakodate University, January 2005

Наша сегодняшняя лекция.:

«Фундаментальное единство естественных наук».