

Всероссийский конкурс исследовательских и проектных работ
школьников
«Высший пилотаж»

**Изучение особенностей самоорганизации физических систем и их
экспериментальная проверка**

Направление

«Физика»

Выполнила:

Мещерякова Софья
Андреевна,

ученица 10 класса

ЧОУ «Первая частная
гимназия Максимум»

2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ САМООРГАНИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ.	
1.1 СИНЕРГЕТИКА – НАУКА БУДУЩЕГО.....	6
1.2 БИФУРКАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	15
Глава 2 ОБЪЕКТ, ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	16
Глава 3 ОПЫТ ПО ФОРМИРОВАНИЮ УПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУР В НАГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ.....	19
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	23
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	24

ВВЕДЕНИЕ

Наш мир и всё что доступно в нём наблюдению, претерпевает непрерывные изменения – мы наблюдаем его непрерывающуюся эволюцию. Мир непрерывно развивается, и в этом изменении просматривается определённая закономерность: сильнонеравновесная физическая система, как правило, стремится к состоянию, отличному от состояния равновесия.

Синергетика представляет собой новую обобщающую науку, изучающую основные законы самоорганизации сложных систем. В нее входят такие области как нелинейная динамика, хаос, фракталы, катастрофы, бифуркации, волны, солитоны, полевые эффекты и т.д. В наши дни острый интерес к синергетике объясняется тем, что она становится языком междисциплинарного общения, на котором могут друг друга понять математики, физики, химики, биологи, психологи и др., несмотря на то, что каждый понимает синергетические модели по-своему. Трудно или даже невозможно назвать область знания, в которой сегодня не проводились бы исследования под рубрикой синергетики.

Сегодня, когда синергетика приобрела значения движущего начала в научных исследованиях, возникает вопрос о необходимости преподавания основ синергетики в школе.

Следует отметить, что общие механизмы и закономерности самоорганизации физических систем представляют большой познавательный интерес для школьников. Однако, насколько нам известно, в школах недостаточно доступной и наглядной учебной литературы, пригодной для использования учителями при проведении занятий и кружков, на которых изучаются основы синергетики. Кроме того, в литературе недостаточно представлены сведения об экспериментах, иллюстрирующих основные закономерности самоорганизации физических систем, выполнение которых на базе школьной физической лаборатории не представляет затруднений.

При изучении нелинейных явлений центральным является раздел, посвященный вопросам самоорганизации.

Идеи самоорганизации обладают большой ценностью для учащихся, так как они формируют мировоззренческие представления учащихся, составляют картину мира, определяют стиль мышления. Такие фундаментальные идеи самоорганизации, как творческая роль хаоса в процессе эволюции

сложноорганизованных систем (без хаоса нет и порядка), конструктивная роль случайности, многовариантность эволюции, взаимодействие и развитие наук разной природы на современном этапе должны стать элементами нового мировидения еще в школе. Однако, сложность научного материала и недоступность пониманию среднего школьника или студента, создали определенную проблему в области методики преподавания вопросов самоорганизации.

Цель работы: Изучение особенностей самоорганизации физических систем и их экспериментальная проверка.

Актуальность и новизна работы: Синергетика, как наука, изучающая основные механизмы и закономерности самоорганизации физических систем, стала очевидной в течение последних 20 лет. К концу 90-х принципы и методы синергетики стали применяться при решении круга задач в области физики. Поэтому актуальность и новизна данной работы заключается в исследованиях общих механизмов и закономерностей самоорганизующихся систем.

Практическое значение. В практической части планируется представить описание и результаты вычисления демонстрации по самоорганизации – ячеек Бенара. Актуальность разработки этой демонстрации вызвана повышенным интересом к изучению вопросов синергетики в области физики. Описана методика демонстрации, которая позволяет показать организацию пространственных структур, условия их стабильного существования и перехода к хаосу. Несмотря на то, что ранее это явления рассматривалось в теоретических и практических курсах, новая демонстрация и ее трактовка доступны учащимся школ.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ САМООРГАНИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1.1 СИНЕРГЕТИКА – НАУКА БУДУЩЕГО

Синергетика – единственная из всех наук, призванная вести исследования в пограничных областях знаний, направленных на выявление закономерностей самопроизвольного образования и разрушения упорядоченных пространственно-временных структур. Это общепризнанно. Но есть еще одна не менее важная, ее научная задача – синергетику с полным правом можно отнести к науке телеологической направленности исследований [2], науке, изучающей процессы целесообразной самоорганизации структур, а также выяснение законов построения организации, возникновения упорядоченности. Здесь акцент делается на принципах построения

Синергетика, как правило, имеет дело с открытыми системами, далекими от равновесия. Открытые системы – это такие системы, которые поддерживаются в определенном состоянии за счет непрерывного притока извне и (или) стока вовне вещества, энергии или информации. Причем приток и сток обычно носят объемный характер, т.е. происходят в каждой точке данной системы. Постоянный приток вещества, энергии или информации является необходимым условием существования неравновесных, неустойчивых состояний в противоположность замкнутым системам, неизбежно стремящимся к однородному равновесному состоянию. Если отклонение открытой системы от состояния равновесия невелико, то неравновесное состояние можно описать теми же параметрами (температура, химический потенциал и другие), что и равновесное. Однако отклонение параметров от равновесных значений вызывают потоки вещества и энергии в системе. Такие процессы переноса приводят к производству энтропии. Примерами открытых систем являются: биологические системы, включая клетку, системы обработки информации в кибернетике, системы энергоснабжения и другие. Для поддержания жизни в системах от клетки до человека необходим постоянный обмен энергией и веществом с окружающей средой. Следовательно, живые организмы являются системами открытыми, аналогично и с другими приведенными параметрами. Пригожиным в 1945 году был сформулирован расширенный вариант термодинамики.

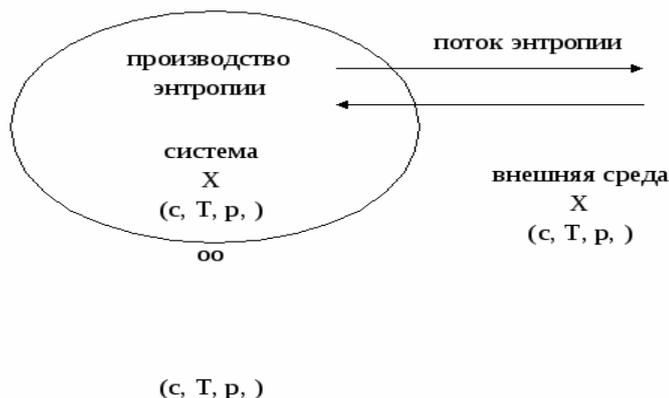


Рисунок 1.1 Схематическое представление открытых систем: производство и поток энтропии, где X – набор характеристик, c – состав системы и внешней среды, T – температура, p – давление

В открытых системах ключевую роль могут играть случайные факторы, флуктуационные процессы. «Иногда флуктуация может стать настолько сильной, что существовавшая организация разрушается» [10].

Итак, мы имеем систему, открытую для протока энергии или иного достаточно интенсивного воздействия извне. Система понимается как сложная, то есть содержащая очень большое, иногда с трудом исчислимое множество и поэтому процессы в системе строятся как массовые кооперативные процессы. Вместе с тем сложность или простота системы – понятия относительные. Прибегать к ним как к определяющим показателям кажется нам не очень продуктивным. Синергетика способна рассматривать всякую систему одновременно и на макроуровне – как целостность, описываемую достаточно просто немногими параметрами порядка, и на микроуровне – как сложное взаимодействие множества элементов.

Синергетика – это наука о самоорганизации в нелинейной среде. Нелинейность среды задается нелинейностью изменения ее параметров в пространстве.

Нелинейность – это фундаментальный концептуальный узел новой парадигмы. С математической точки зрения нелинейность означает особый тип

математических уравнений, описывающих не плавный, а существенно неравномерный рост функции и имеющих несколько качественно различных решений [11]. Отсюда ясен и физический смысл нелинейности: определенному набору решений нелинейного уравнения соответствует множество путей эволюции системы, описываемой этим уравнением, а переход в то или иное относительно устойчивое состояние системы или русло эволюции происходит скачкообразно, соответственно особым точкам графической кривой. Нелинейные уравнения могут иметь несколько качественно различных решений, которым

Неравновесность, неустойчивость открытых систем порождается постоянной борьбой двух тенденций. Первая – это порождение и укрепление неоднородностей, структурирования, локализации элементов открытой системы. И вторая – рассеивание неоднородностей, «размывание» их, диффузия, деструктуризация системы. Если побеждает первая тенденция, то открытая система становится самоорганизующейся системой, а если доминирует вторая – открытая система рассеивается, превращаясь в хаос. А когда эти тенденции примерно равны друг другу, тогда в открытых системах ключевую роль – наряду с закономерным и необходимым – могут играть случайные факторы, флуктуационные процессы. Иногда флуктуация может стать настолько сильной, что существовавшая организация разрушается.

Процессы, происходящие в нелинейных системах, часто носят пороговый характер – при плавном изменении внешних условий поведение системы меняется скачком. Другими словами, в состояниях, далеких от равновесия, очень слабые возмущения могут усиливаться до гигантских волн, разрушающих сложившуюся структуру и способствующих ее радикальному качественному изменению.

Нелинейность фиксирует непостоянство, многообразие, неустойчивость, отход от положений равновесия, случайности, точки ветвления процессов, бифуркации.

Итак, если нелинейная система открыта и ее внутренние флуктуации или внешние воздействия превысят некое пороговое значение, то она может скачком перейти в новое макроскопическое состояние. Но что это за состояние? И какие состояния вообще возможны?

Синергетика изучает два типа структур: диссипативные и нестационарные (эволюционирующие).

Нестационарные (эволюционирующие) структуры возникают за счет активности нелинейных источников энергии. Здесь структура – это локализованный в определенных участках среды процесс, имеющий определенную геометрическую форму и способный развиваться, трансформироваться или же переноситься в среде с сохранением формы.

Синергетика, как правило, имеет дело с открытыми системами, далекими от равновесия. Открытость системы означает наличие в ней источников и стоков, например, вещества, энергии и информации.

Чтобы система образовалась, необходим соответствующий динамический источник, который как раз и выступает организующим началом. Без подвода вещества и энергии организмы вымирают, без подвода газа не горит пламя в газовой горелке; безжизненной оказывается любая социальная система, обесточенная в информационном отношении. Там, где наступает равновесие, самоорганизация прекращается.

Имея дело с открытыми (имеющими источники и стоки энергии) нелинейными системами, синергетика утверждает, что мир возникает в результате самопроизвольных и самоорганизующихся механизмов. В их основе лежит единая симметрия форм в живой и неживой природе. Например, спирали Галактики и циклона подобны спирали раковины улитки, рогов животных. Есть общность структуры Вселенной и живой природы, урбанизации и географического распределения населения и т.п.

Синергетика объясняет, почему образуются именно эти структуры. Она обосновывает положение, согласно которому подобные структуры являются структурами эволюционными. Функциональная общность процессов самоорганизации систем, их устойчивость поддерживается законами ритма (день – ночь, подъем – спад в творческой активности человека и т.п.).

В процессе самоорганизации возникает множество новых свойств и состояний. Очень важно, что обычно соотношения, связывающие аттракторы (отрезок эволюционного пути от точки бифуркации до необходимого финала), намного проще, чем математические модели, детально описывающие всю новую систему.

В переломный момент самоорганизации принципиально неизвестно, в каком направлении будет происходить дальнейшее развитие: станет ли состояние системы хаотическим или она перейдет на новый, более высокий уровень упорядоченности и организации. В точке бифуркации система как бы колеблется перед выбором того или иного пути организации, пути развития. В таком состоянии небольшая флуктуация может послужить началом эволюции системы в некотором определенном направлении, одновременно отсекая при этом возможности развития в других направлениях.

Таким образом, можно сказать, что сейчас синергетика – это круг общих идей о принципах самоорганизации и вместе с тем сумма общих математических методов для ее описания. Предпринимаются все более активные попытки использования этих идей и методов в экологии, социологии и экономике.

1.2 БИФУРКАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Основы математической теории бифуркаций были созданы А. Пуанкаре и А. М. Ляпуновым в начале XX века, а затем развиты некоторыми школами. Теория бифуркаций находит приложения в разных науках, начиная от физики и химии, заканчивая биологией..

Происхождение термина бифуркация (от лат. bifurcus - раздвоенный) связано с тем фактом, что динамическая система, поведение которой в равновесной области описывается системой линейных дифференциальных уравнений, имеющих единственное решение, при изменении параметров до некоторого критического значения, достигает так называемой точки бифуркации – точки ветвления возможных путей эволюции системы.

Этот момент (точка ветвления) соответствует переходу системы в неравновесное состояние, а на уровне математического описания ему соответствует переход к нелинейным дифференциальным уравнениям и ветвление их решений.

Бифуркацией называется приобретение нового качества эволюции динамической системы при малом изменении ее параметров. Бифуркация соответствует перестройке характера движения или структуры реальной системы (физической, химической, биологической и т. д.). С позиций математики, бифуркация – это смена топологической структуры разбиения фазового пространства динамической системы на траектории при малом изменении ее параметров.

Это определение опирается на понятие топологической эквивалентности динамических систем: две системы топологически эквивалентны, если они имеют одинаковую структуру разбиения фазового пространства на траектории, если движения одной из них могут быть сведены к движениям другой непрерывной заменой координат и времени.

Примером такой эквивалентности служат движения маятника при разных величинах коэффициента трения k : при малом трении траектории на фазовой плоскости имеют вид скручивающихся спиралей, а при большом – парабол.

Пример: В математической модели возникновению ячеек Бенара соответствует бифуркация рождения новых состояний равновесия (соответствующих ячеистой структуре).

Среди различных бифуркаций при анализе моделей физических систем особенно интересны, так называемые, локальные – это бифуркации, при

которых происходит перестройка отдельных движений динамической системы.

Простейшими и наиболее важными из них являются:

- бифуркации состояний равновесия (ячейки Бенара)
- бифуркации периодических движений.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ, ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являются ячейки Бенара.

Предмет исследования: исследовать возникновение упорядоченности в виде конвективных ячеек в форме цилиндрических валов или правильных шестигранных структур в слое вязкой жидкости равномерно подогреваемой снизу.

Программа исследования включала в себя следующие вопросы:

1. Обзор и анализ литературы по самоорганизации физических систем.
2. Демонстрация опыта по формированию упорядоченных структур.

Методика исследования:

1. Для того чтобы экспериментально изучить структуры, достаточно иметь круглую металлическую кювету с внешним диаметром порядка 10 см., либо обычную сковороду, немного масла и какой-нибудь мелкий порошок (обычно берут алюминиевую пудру), чтобы было заметно движение жидкости.
2. Нальем в кювету слой масла толщиной 1,5 - 2 мм., с размешанным в нем порошком, и будем подогревать ее снизу на электрической плитке (рис.



Рисунок 2.1 Установка для демонстрации ячеек Бенара

3. Нагреваем мы ее равномерно, то можно считать, что у дна и на поверхности поддерживаются постоянные температуры, снизу – T_1 , сверху – T_2 . Пока

разность температуры $T = T_1 - T_2$ невелика, частички порошка неподвижны, а следовательно, неподвижна и жидкость (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 Вид жидкости в начальной стадии нагрева

3. Будем плавно увеличивать температуру T_1 . С ростом разности температур до значения $T_{кр}$ наблюдается все та же картина (рис. 2.3).



Рисунок 2.3Измерение температуры жидкости

Когда разность температур между верхним и нижним слоями $20-30\text{ C}^\circ$, т.е. $T > T_{кр}$, вся среда разбивается на правильные шестигранные ячейки как показано на рисунке 3.6, в центре каждой из которых жидкость движется вверх, по краям вниз. Это и есть ячейки Бенара (рис. 2.4).

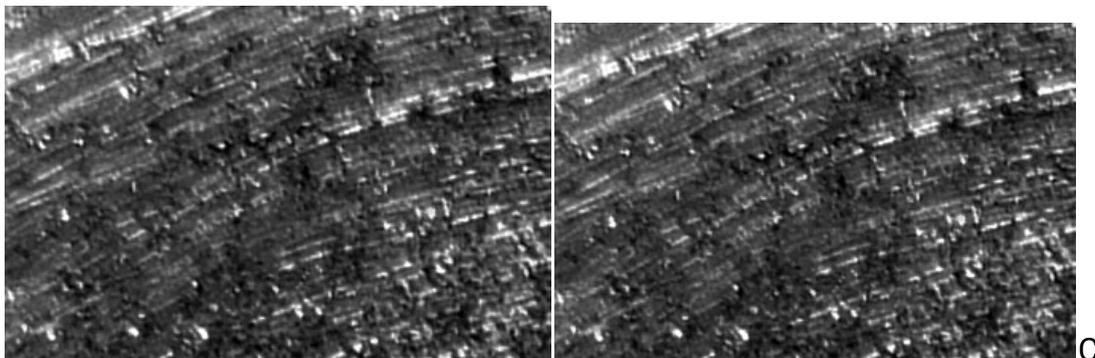


Рисунок 2.4 Экспериментально полученные ячейки Бенара:

а) общий вид;

б) структура ячеек Бенара

Слегка наклоняя емкость, можно продемонстрировать пропорциональность размеров ячеек Бенара толщине слоя жидкости. Там, где толщина слоя жидкости невелика, ячейки будут маленькими.

4. С помощью описанного прибора можно также продемонстрировать способность ячеек Бенара к самоорганизации. Если разрушить имеющуюся структуру – например, активно перемешивая жидкость палочкой, то через некоторое время после окончания перемешивания ячейки вновь восстанавливаются.

ГЛАВА 3. ОПЫТ ПО ФОРМИРОВАНИЮ УПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУР В НАГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ

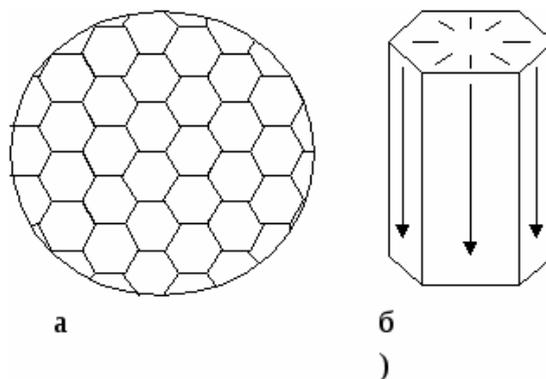
Опыт Бенара состоит в следующем. Горизонтальный слой вязкой жидкости заключают между двумя параллельными поверхностями, причем нижнюю поверхность нагревают. Сначала жидкость находится в покое. Но за счет подогрева снизу создается разница температур. Из-за силы тяжести и выталкивающей силы Архимеда, тяжелые верхние слои и легкие нижние слои стремятся поменяться местами. До какого-то момента все внутренние движения гасятся силами вязкости. Но при достижении критической разности температур возникают конвекционные потоки, и слой жидкости вдруг скачком разделяется на шестиугольные ячейки,

похожие на пчелиные соты (рис. 3.1).

Рисунок 3.1 Ячейки Бенара:

а) общий вид структуры;

б) отдельная ячейка



Эта структура образовалась в масле, налитом в плоский широкий сосуд, подогреваемый снизу, после того как температурный градиент превысил некоторое критическое значение. Весь слой масла распался на одинаковые вертикальные шестигранные призмы с определенным соотношением между стороной и высотой. В центральной области призмы жидкость поднимается, а вблизи вертикальных граней – опускается. Возникает разность температур T между нижней и верхней поверхностью $T = T_2 - T_1 > 0$. Для малых до критических разностей $T < T_{кр}$ жидкость остается в покое, тепло снизу вверх передается путем теплопроводности. При достижении температуры подогрева критического значения $T_2 = T_{кр}$ (соответственно $T = T_{кр}$) начинается конвекция. При достижении критического значения параметра T , рождается, таким образом,

пространственная диссипативная структура. При равновесии температуры равны $T_2 = T_1, T = 0$. При кратковременном подогреве (подводе тепла) нижней плоскости, то есть при кратковременном внешнем возмущении температура быстро станет однородной и равной ее первоначальному значению. Возмущение затухает, а состояние – асимптотически устойчиво. При длительном, но до критическом подогреве ($T_{кр}$) в системе снова установится простое и единственное состояние, в котором происходит перенос к верхней поверхности и передачи его во внешнюю среду (теплопроводность), рис. 3.2, участок а. Отличие этого состояния от равновесного состояния состоит в том, что температура, плотность, давление станут неоднородными. Они будут приблизительно линейно изменяться от теплой области к холодной.

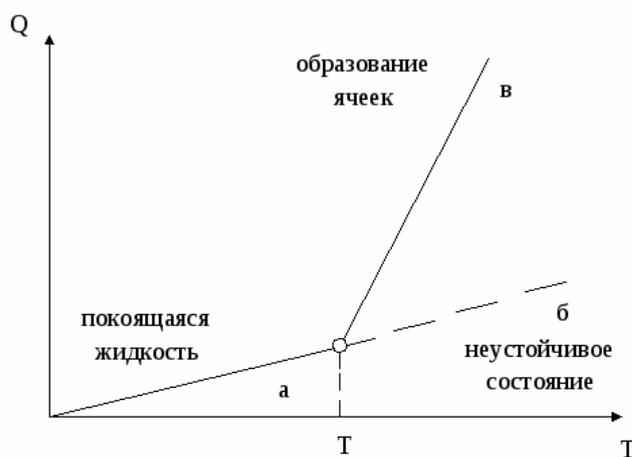


Рисунок 3.2 Поток тепла в тонком слое жидкости

Увеличение разности температур T , то есть дальнейшее отклонение системы от равновесия, приводит к тому, что состояние неподвижной теплопроводящей жидкости становится неустойчивым участок б на рисунке 3.2. Это состояние сменяется устойчивым состоянием (участок в на рис. 3.2), характеризующимся образованием ячеек. При больших разностях температур покоящаяся жидкость не обеспечивает большой перенос тепла, жидкость «вынуждена» двигаться, причем кооперативным коллективным согласованным образом.

В данной системе управляющим параметром служит градиент температуры. При малых значениях градиента температуры с жидкостью ничего не происходит, т. е. система находится в непосредственной близости от термодинамического равновесия. Подводимое тепло извне отводится посредством диффузии. При постоянном нагревании мы уводим систему все дальше и дальше от термодинамического равновесия. Тепловой диффузии становится все труднее обеспечивать рассеяние подводимой энергии. Это происходит до тех пор. Пока внезапно не откроется конвективный канал отвода энергии, и в точке неустойчивости не возникнет макроскопическое коллективное движение жидкости. Более нагретые участки жидкости, находящиеся ближе к источнику тепла, расширяются и, подчиняясь подъемной силе Архимеда, поднимаются вверх. Здесь они охлаждаются и вновь опускаются вниз. Подъемной силе противостоят сопротивление внутреннего трения и тепловая диффузия, которые стремятся выровнять температуру и плотность нагретого участка жидкости с температурой и плотностью окружающей среды. Таким образом, устанавливается процесс конвективного переноса тепла, обусловленный коллективным движением жидкости. Это коллективное движение производится за счет кинетической энергии – работы сил, вызывающих «всплывание» более теплых масс жидкости при наличии обратного градиента температуры, поддерживаемого односторонним нагревом.

В непосредственной близости от точки неустойчивости подводимое к системе тепло превращается в неупорядоченную энергию теплового возбуждения: в случайно возникающие и сразу же распадающиеся флуктуации, порожденные скоррелированными микро-движениями относительно небольших групп молекул жидкости, которые служат первым признаком перехода к конвективному движению. За точкой неустойчивости флуктуации, порождаемые источником порядка, отождествляемым с отклонением системы от термодинамического равновесия, не распадаются, а напротив, усиливаются. Образуется новая динамически упорядоченная структура, так называемые ячейки Бенара. Это новая структура возникает и существует за счет подводимой извне тепловой энергии, часть которой преобразуется в кинетическую энергию макроскопически упорядоченных струй жидкости. Образование таких струй нарушает непрерывную трансляционную симметрию, типичную для структуры однородной жидкости. Ячейки выстраиваются вдоль горизонтальной оси, причем жидкость в ячейках приходит последовательно во вращение то по, то

против часовой стрелке. Устойчивое струйное течение жидкости, невероятное или даже невозможное в изолированной системе, поддерживается балансом потоков подводимого и рассеиваемого тепла, вследствие чего сохраняются температурный градиент и скорость течения, установившиеся в системе струй. Если отключить нагреватель, исчезнет источник тепловой энергии, а вместе с ним упорядоченное коллективное конвективное движение.

При визуальном наблюдении внутри каждой ячейки отчетливо видна циркуляция жидкости. Для жидкостей, у которых плотность уменьшается с повышением температуры, движение нагретой жидкости происходит в центре вверх, и после остывания жидкость опускается вниз по боковым граням ячейки. Очевидно, что если температурная зависимость плотности жидкости будет иной, то движение сменится на противоположное. Уже образовавшуюся структуру легко разрушить, перемешав жидкость. Но разрушенная структура ячеек восстанавливается уже через несколько секунд. Можно изменить и размеры ячеек, если слегка наклонить кювету. С увеличением толщины слоя диаметры ячеек уменьшаются. По мере остывания кюветы (уменьшения градиента температуры) ячейки увеличиваются в размере.

Образование именно сотовой ячеистой структуры объясняется минимальными затратами энергии в системе на создание именно такой формы пространственной структуры. При этом в центральной части ячейки жидкость движется вверх, а на ее периферии – вниз.

Дальнейшее сверхкритическое нагревание жидкости приводит к разрушению пространственной структуры – возникает хаотический турбулентный режим.

Но самое удивительное заключается в том, что при еще больших тепловых потоках наблюдается чередование переходов: $X \rightarrow \rightarrow \rightarrow \dots$, где X – хаос, Π – порядок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрен один из важнейших разделов физики – нелинейная динамика открытых систем. Изучение неравновесных систем дает решение задачи предсказания поведения изучаемого объекта во времени и пространстве. На основании анализа литературы раскрыты общие механизмы и закономерности самоорганизующихся физических систем, а также проанализированы основные концепции науки о самоорганизации – синергетики.

Экспериментально подтвердилось возникновение упорядоченности в виде конвективных ячеек в форме цилиндрических валов или правильных шестигранных структур в слое вязкой жидкости равномерно подогреваемой снизу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Самоорганизация материальных систем // Философия [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа: http://prog10.narod.ru/glava2_5.htm. - Дата доступа: 18.09.2011.
2. Николис, Г. Самоорганизация в неравновесных системах / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
3. Малинецкий, Г.Г. Синергетика – теория самоорганизации / Г.Г. Малинецкий. – М.: Наука, 1983. – 164 с.
4. Панов, Г.А. Интервью с профессором Г. Хакеном / Г.А. Панов // Вопросы философии. – 2000. – № 3. – С. 46 – 59.
5. Дубровский, В.Н. Самоорганизация пространства-времени в процессе эволюции Вселенной / В.Н. Дубровский, Ю.Б. Молчанов // Астрономия и современная картина мира [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/dubrovsky_samoorganizatsia.htm. - Дата доступа: 25.09.2011.
6. Малинецкий, Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего / Г.Г. Малинецкий, С.П. Капица. – М.: Наука, 1985. – 354 с.
7. Курдюмов, С. Синергетика – теория самоорганизации / С. Курдюмов, Г. Малинецкий // Наука и техника [Электронный ресурс]. – 2000. – Режим доступа: <http://n-t.pros.ru/tp/in/sts.htm>. - Дата доступа: 25.09.2011.
8. Лоскутов, А.Ю. Введение в синергетику / А.Ю. Лоскутов. – М.: Наука, 1990. – 271 с.
9. Симо, К. Современные проблемы хаоса и нелинейности / К. Симо. – М.: Ижевск, 2002. – 304 с.
10. Пригожин, И. Порядок из хаоса / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 431 с.
11. Курдюмов, С. Синергетика: начала нелинейного мышления / С. Курдюмов // ОНис. – 1993. – № 2. – С. 145 – 152.
12. Рюэль, Д. Случайность и хаос / Д. Рюэль. – М.: Ижевск, 2001. – 92 с.
13. Карпенков, С.Х. Концепция современного естествознания /

С.Х. Карпенков. – М.: Юнити, 1998. – 147 с.

14. Пригожин, И. Конец определенности / И. Пригожин. – М.: Ижевск, 1999. – 207 с.

15. Шаповалов, А.В. Введение в нелинейную физику / А.В. Шаповалов. – Томск: ТПУ, 2002. – 96 с.

Рецензия на исследовательскую работу

ученицы 10 класса Мещеряковой Софья Андреевны,

по теме

«Изучение особенностей самоорганизации физических систем и их экспериментальная проверка»

руководитель исследования Червякова Елена Александровна,
учитель физики ЧОУ «Первая гимназия Максимум»

Софья определила целью своего исследования – Изучение особенностей самоорганизации физических систем и их экспериментальная проверка. Исследование можно считать реализованным полностью.

Выполненный проект полностью соответствует поставленным целям и задачам. Логика работы над проектом продуманна, культура оформления обеспечивает понимание изложенного материала.

Следует отметить, что заявленная тема проекта выходит за рамки школьной программы. Тем не менее, обращение автора к основным положениям теории синергетики продиктовано прежде всего развитием науки физики. Поэтому актуальность проведённого исследования не вызывает сомнения. Развитие и углубление данной темы имеет реальное перспективное продолжение и связано с изучением самоорганизующихся систем их практического применения.

Во введении автор достаточно грамотно выстроил категориально-понятийный аппарат исследования: объект, предмет, цель гипотезу, задачи исследования, методы исследования, теоретическую и практическую значимость, методологическую основу. Следование такой стратегии, несомненно, позволило автору определить основные направления исследования, сформировать структурность и установить логическую связь между компонентным содержанием проекта. Реферативное содержание проекта отражено в его основной части и полностью соответствует целям и задачам заявленной темы. Информационное содержание этой части было обеспечено за счет использования научно-методической и учебной литературы, которая представлена в библиографии. При написании работы автор активно использовал интернет-ресурсы.

Анализ текстовой основы проекта позволяет сделать вывод о том, что автор владеет языком письменного изложения научной информации, применяет правильные грамматические конструкции, свободно использует научные термины. Такой стиль отличается четкостью и доступностью изложения

материала. Следует также отметить, что выводы и заключение сделаны содержательно и правильно

Рецензируемый проект представляет собой самостоятельно выполненную, содержательную, практико-ориентированную исследовательскую работу, вносящую определенный вклад в развитие школьной науки и практики.

Рецензент считает, что исследовательский проект С.А. Мещеряковой заслуживает высокой оценки и может быть представлен на защиту конференции «Высший пилотаж»

Рецензент: Червякова Е.А., учитель физики ЧОУ «Первая гимназия Максимум»

