

Эти удивительные линейные вихри

Структуру линейного вихря легко понять по виду водяной воронки. Существуют стенки вихря, которые вращаются с максимальной скоростью. Снаружи стенок скорость вращения постепенно убывает. Внутри стенок скачком убывает скорость вращения и плотность среды, поэтому внутри водяного вихря видна пустота. Соответственно, внутри газового вихря должна быть область очень низкого давления.



Рис.1. Вид водяной воронки

Исследования доктора физики Николая Петровича Кастерина (“Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики”, 1937г.) показывают, что вихри могут жить очень долго при строго определённых параметрах вихрей и окружающей их гидродинамической среды. Примером долгожителя может быть вихрь в среде одноатомного газа, у которого стенки вращаются со скоростью звука в этой среде. Огромный вихрь, размером с Землю, наблюдается на Юпитере непрерывно 188 лет. Подозревают, что ему не менее 350 лет.

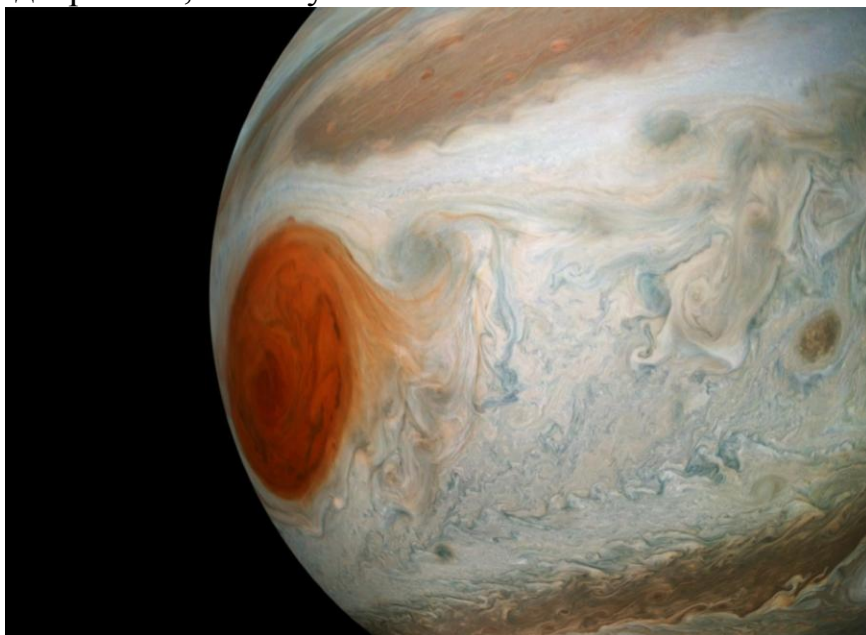


Рис.2. Большое Красное Пятно на Юпитере – гигантский вихрь

Основные особенности взаимодействия вихрей были исследованы ещё в 19 веке. У истоков создания нового раздела гидродинамики стояли немецкий физик Герман фон Гельмгольц (“Основы вихревой теории”, 1858) и русский учёный Николай Егорович Жуковский (“Основы теории вихрей”, 1891 год). Для параллельных линейных вихрей одинаковой интенсивности и размера (калиброванных) их исследования можно свести к трём основным правилам.

П.1. Каждый линейный вихрь толкает любой соседний параллельный линейный вихрь в направлении, перпендикулярном к линии, их соединяющей в соответствии с направлением собственного вращения.

Удивительное явление! Невольно возникает ассоциация с воздействием магнитного поля на движущийся заряд.

П.2. Два калиброванных параллельных линейных вихря с одинаковым направлением вращения будут вращаться вокруг оси, находящейся посередине между ними. Удивительное явление! Невольно возникает ассоциация с работой бытового электрического миксера.

П.3. Два калиброванных параллельных линейных вихря с противоположным направлением вращения будут двигаться в направлении, перпендикулярном прямой линии, соединяющей их центры. Удивительное явление! Невольно возникает ассоциация с наличием у такой самодвижущейся вихревой пары собственного двигателя.



Рис. 3. Пара линейных вихрей в море

Прошло полтора века. Давно пришло время внести уточнения в теорию вихрей. Рассмотрим теоретическую задачу взаимодействия между собой множества калиброванных параллельных линейных вихрей в некой абстрактной бесконечной газоподобной среде с расчётными параметрами Кастерина. Казалось бы, для программиста задача проста. Вводим

начальные координаты объектов, вводим три правила взаимодействия вихрей, запускаем программу и наблюдаем динамику. Но квалифицированный программист непременно должен задать следующий вопрос: «Эти объекты притягиваются или отталкиваются?». У Гельмгольца и Жуковского не описаны силы, действующие вдоль линии, соединяющей центры вихрей. Попробуем восстановить этот пробел. В газе возможно формирование областей с разным давлением. Для восстановления равновесия газ стремится перераспределиться и начинает двигаться из области повышенного давления в область пониженного давления. При этом движении он увлекает находящиеся в нем объекты. При возникновении разницы давлений снаружи и внутри некой замкнутой полости возникающие силы давления на стенки полости могут быть очень велики. Это ещё в 1654 году доказал знаменитый эксперимент немецкого физика Отто фон Герике в Магдебурге, в котором 16 лошадей не могли разорвать прижатые друг к другу полушария с откаченным воздухом внутри. Удивительное явление! Эти гидродинамические силы притяжения превышают электрические и магнитные силы!



Рис.4. Эксперимент с Магдебургскими полушариями

Одним из способов создания области пониженного давления является формирование газового ламинарного потока (струи). Убедиться в этом легко, если попытаться продуть струю воздуха между двумя листами бумаги. Описание такого опыта автор нашёл в монографии к.т.н. Владимира Михайловича Антонова, доцента Липецкого университета. Чем сильнее струя, тем ниже давление, тем сильнее будут притягиваться листы друг к другу. Если же продуть две струи навстречу друг другу, то между листами бумаги возникнет область повышенного давления, и они начнут отталкиваться друг от друга. Направление действия таких гидродинамических сил притяжения или отталкивания перпендикулярно направлению ламинарного потока. Удивительное явление! Опять возникает ассоциация с влиянием магнитного поля.

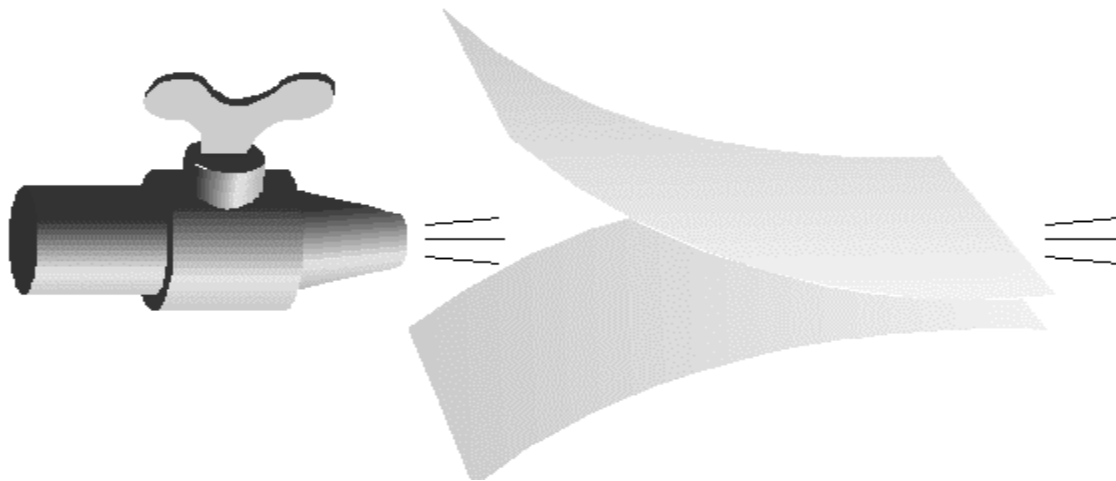


Рис.5. Продувка газа между листами бумаги (из монографии Антонова В.М.)

Между линейными вихрями при противоположном их вращении тоже возникает общий ламинарный поток окружающей их гидродинамической среды. Следовательно, в этом случае давление между вихрями должно уменьшаться, зарождая силы притяжения. А при одинаковом вращении увлекаемая вихрями среда между вихрями движется навстречу друг другу, увеличивая в этом месте давление и зарождая силы отталкивания. Теперь мы смело можем к теории вихрей добавить ещё три новых правила.

П.4. На расстояниях, соизмеримых с диаметрами вихрей, два калиброванных параллельных линейных вихря с одинаковым направлением вращения (одной полярности) будут отталкиваться.

П.5. На расстояниях, соизмеримых с диаметрами вихрей, два калиброванных параллельных линейных вихря с противоположным направлением вращения (разной полярности) будут притягиваться вплоть до установления баланса между силами притяжения и силами упругости.

Удивительное явление! Невольно возникает ассоциация с взаимодействием заряженных частиц микромира.

П.6. Гидродинамические силы зависят от скорости вращения стенок вихрей. Чем больше скорость вращения, тем заметнее действие сил.

Вероятно, Гельмгольц и Жуковский не заметили этих сил по причине малой скорости вращения их экспериментальных вихрей.

Калиброванные вихри разной полярности притягиваются друг к другу. А гидродинамические силы притяжения, как показал опыт с Магдебургскими полушариями, являются самыми мощными силами в макромире. Невольно возникает ассоциация с ядерными силами – самыми мощными силами в микромире. И затухают с расстоянием они тоже очень быстро. Может быть, ядерные силы тоже являются следствием гидродинамических эффектов в микромире? Было бы интересно рассмотреть гидродинамическую модель атомных ядер на предмет соответствия экспериментальным данным.

Вернёмся к поведению множества калиброванных вихрей. В 1891 году Жуковский описал двойную цепочку вихрей, образующихся при обтекании потоком воды плоской пластинки, установленной

перпендикулярно течению (“О парадоксе Дюбуа”). Позднее, в 1912 году немецкий учёный Теодор фон Карман провёл теоретический анализ, благодаря чему подобная цепочка вихрей стала называться дорожкой Кармана в его честь. Удивительно, но это факт – река вокруг несёт вниз по течению всякий мусор, а дорожка Кармана стоит на одном месте! Каждый линейный вихрь лишь совершает небольшие колебательные движения.



Рис. 6. Схема вихревой дорожки из статьи Сергея Шмарина

Рассмотрим силы, действующие между вихрями дорожки. С одной стороны, все вихри одного ряда вращаются в одном направлении – следовательно, они должны отталкиваться друг от друга. С другой стороны, соседние вихри противоположных рядов вращаются в противоположных направлениях – следовательно, они должны притягиваться друг к другу. Возникает баланс между силами притяжения и силами отталкивания, в результате чего в вихревой дорожке не наблюдается динамических перестроек конфигурации. Вдобавок, каждая соседняя пара вихрей с противоположным вращением должна двигаться в направлении, перпендикулярном прямой линии, соединяющей их центры. Так как у каждого вихря два соседа с противоположным вращением, то он участвует одновременно в двух движениях. По правилу сложения векторов результирующее направление движения становится противоположным направлению движения реки. Удивительное явление! Получается, что дорожка Кармана способна к самостоятельному движению! В данном случае скорость движения равна скорости реки, но противоположна по направлению. Из вышесказанного следует логический вывод: если в неподвижной гидродинамической среде создать генератор вихрей с переменным направлением вращения, то сформированная вихревая дорожка начнёт самостоятельно двигаться со скоростью, равной линейной скорости поверхностей вихрей. Скорость звука в гидродинамической среде примерно равна средней скорости хаотического движения частиц среды. При полном превращении хаотического движения в направленное движение средняя скорость движения частиц среды не должна меняться по закону сохранения энергии. Следовательно, скорость звука является максимальной скоростью вращения стенок вихря. Если стенки вихрей будут вращаться со скоростью звука, то и скорость вихревой дорожки будет равна скорости звука.

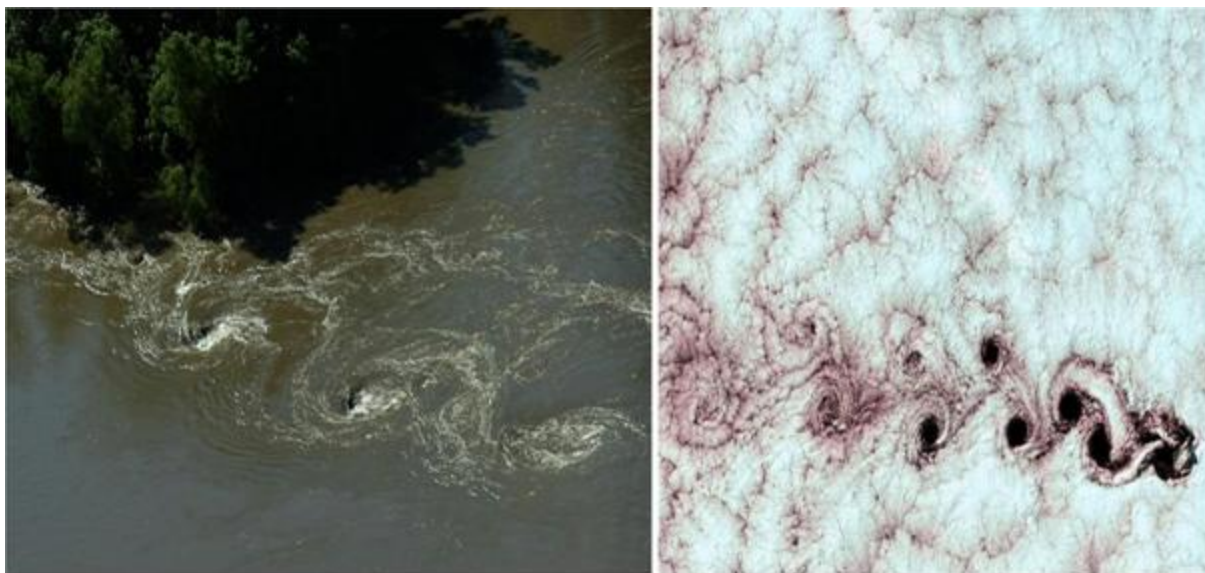


Рис. 7. Вихревые дорожки Кармана в реке и облаках

Удивительное явление! Самодвижущаяся волна, в которой есть период, есть дискретные кванты, но нет продольных колебаний, характерных для звуковых волн. Невольно возникает ассоциация со световыми волнами, если скорости звука в газовой среде макромира сопоставить скорость света в гидродинамической среде микромира. Может быть, световые волны тоже являются следствием гидродинамических эффектов в микромире?

При выпрямлении зигзагообразной вихревой дорожки скорость движения в прежнем направлении будет стремиться к нулю – чем прямее, тем меньше скорость. При идеальной линейной структуре поступательное движение прекращается, но начинаются другие динамические явления. Каждый внутренний вихрь будет по-прежнему участвовать в двух движениях со своими ближайшими соседями. Но направления движения теперь прямо противоположны, поэтому в результате внутренние вихри остаются на месте. Другая ситуация для крайних вихрей. Ближайший сосед только один, поэтому крайние вихри начнут двигаться, постепенно увлекая за собой в движение и все последующие вихри. При таком движении возможно замыкание чётного количества вихрей в стабильную кольцевую цепочку. В такую цепочку уже невозможно вставить новый вихрь. Удивительное явление! Невольно возникает ассоциация с полностью заполненными нуклонными оболочками в атомных ядрах.

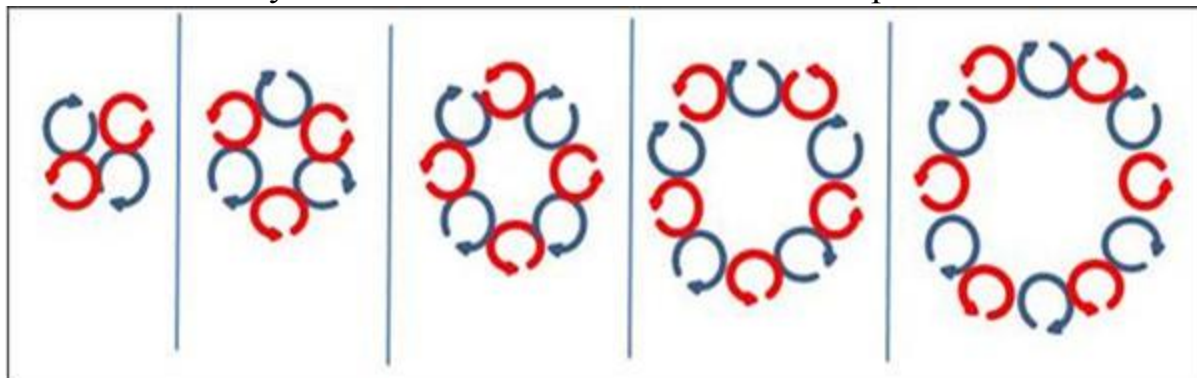


Рис. 8. Статические кольца из калиброванных линейных вихрей

Если все вихри одинаковой полярности, то все они будут отталкиваться друг от друга. В поисках устойчивых конфигураций однополярных вихрей частный класс решений получен в работе Дж.Дж.Томсона, удостоенной премии Адамса в 1883 г. Устойчивые конфигурации получаются при размещении однополярных вихрей в вершинах вращающегося правильного многоугольника. Задача отыскания таких устойчивых состояний исследовалась также Кэмпбелом. Он математически доказал, что для любого N (число вихрей) существует, по крайней мере, одно устойчивое состояние вращения и для $N=1,2,...,30,37,50$ составлен обширный так называемый «Лос-Аламоссский» каталог установившихся вращений на плоскости. Оказалось, что в таких устойчивых состояниях вихри располагаются на одной или нескольких концентрических окружностях. Удивительное явление! Невольно возникает ассоциация с моделью электронных оболочек атома.

Профессор Гарвардского университета Альфред Маршалл Майер в 1878 году сообщил, что ему удалось найти уникальный способ имитации взаимодействия вихрей одной полярности. Он экспериментально доказал, что устойчивые состояния возможны только при наличии притягивающего центра. Майер использовал одинаково намагниченные иголки, воткнутые в маленькие пробки, плавающие в сосуде с водой.

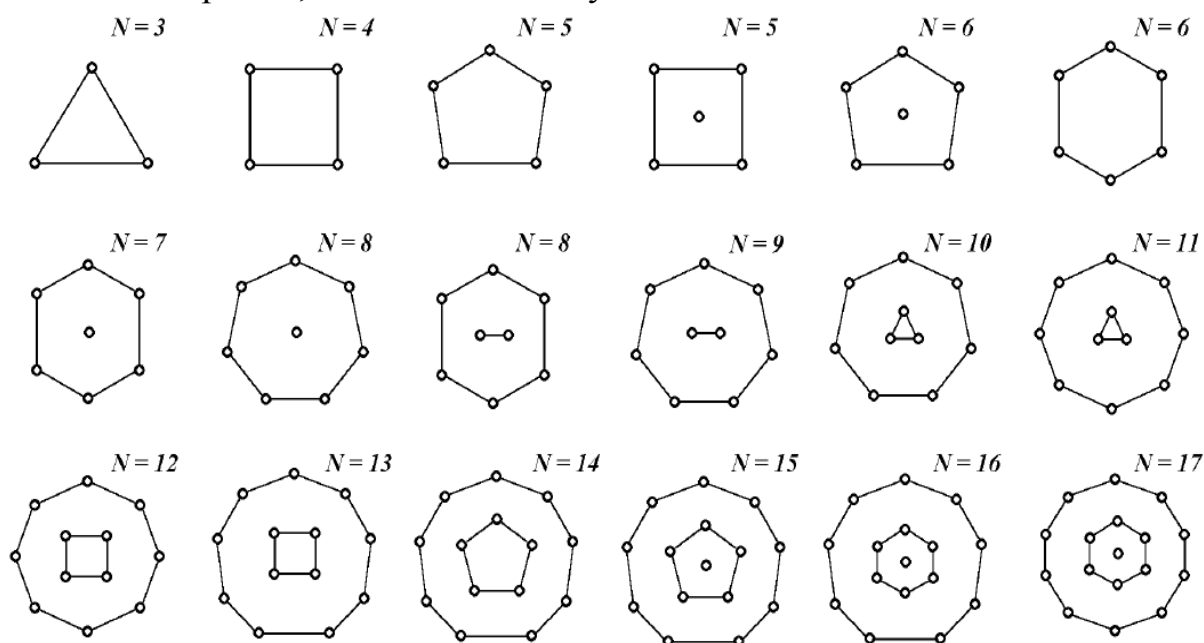


Рис.9. Симметричные конфигурации плавающих магнитов

Игольчатые магниты, отталкиваясь друг от друга, притягивались к размещенному над центром сосуда электромагниту, образуя статические конфигурации вихрей в виде концентрических N -угольников. Без общего центра притяжения описанные Майером статические конфигурации вихрей в виде N -угольников разбежались бы в разные стороны под действием взаимного отталкивания.

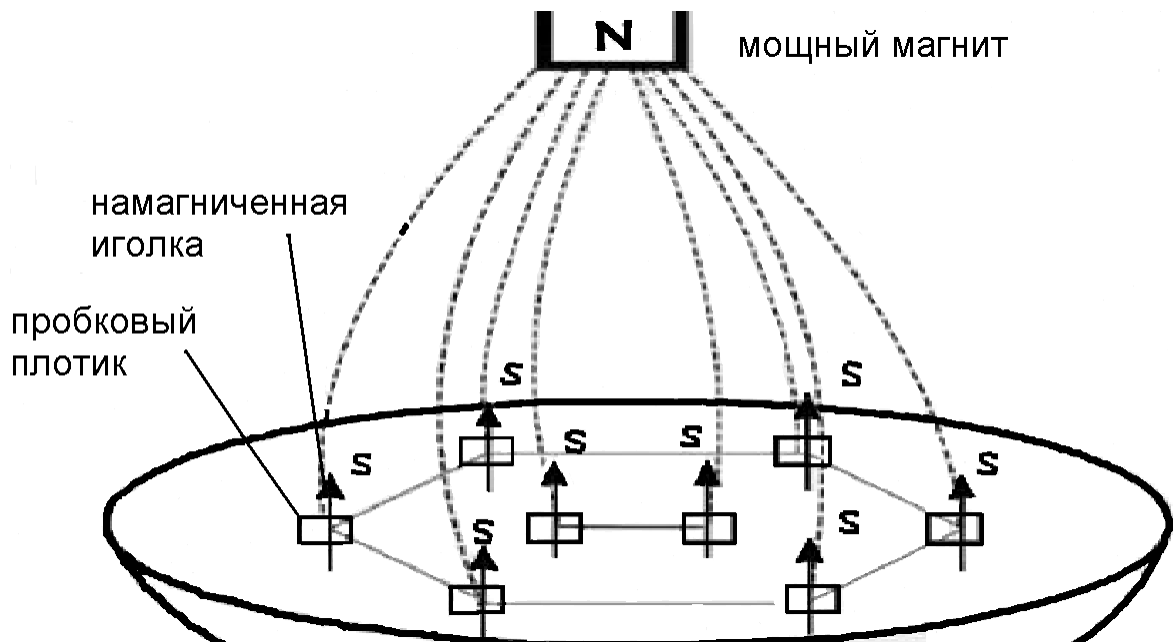


Рис. 10. Схема опыта Майера

После того, как мы ввели три новых правила взаимодействия вихрей, нам ничто не мешает общий центр притяжения разместить в центре – это должен быть вихрь с противоположным направлением вращения. В статье Арефа, Мелешко и др. (“Равномерно-вращательные конфигурации точечных вихрей”, 2007 г.) было математически доказано, что все несимметричные вихревые конфигурации являются неустойчивыми к начальным возмущениям. А для симметричных вихревых конфигураций было показано, что система одинаковых вихрей, расположенных в вершинах правильного многоугольника, вращается с постоянной угловой скоростью вокруг вихря другой полярности, расположенного в центре многоугольника. Единственным исключением является случай, когда многоугольник покоится при $N=3$ (назовем это правилом Арефа-Мелешко). А при $N=2$ конфигурация вихрей в виде пропеллера вращается в противоположном направлении.

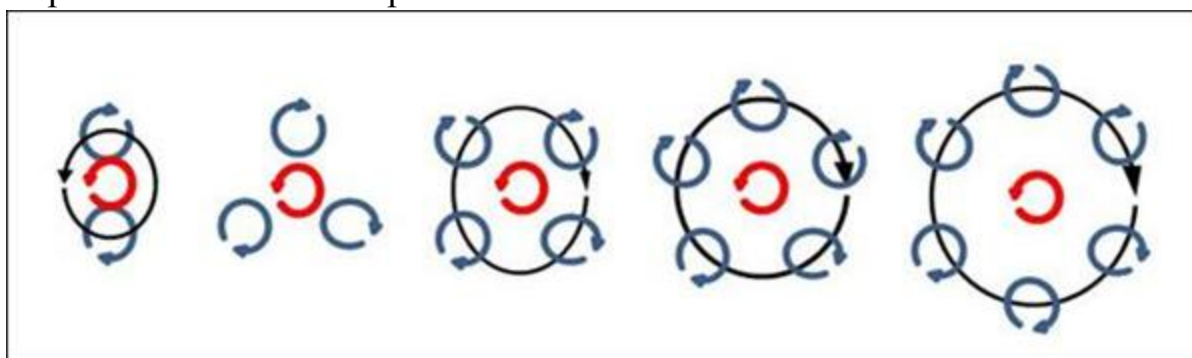


Рис. 11. Конфигурации с центральным вихрем равной интенсивности

При двух соседях конфигурация в виде пропеллера единственная, в которой внешние однополярные вихри не отталкиваются друг от друга. Баланс устанавливается только между силами притяжения разнополярных вихрей и силами упругого отталкивания. Здесь силы отталкивания

однополярных вихрей полностью экранируются центральным вихрем, благодаря чему энергия связи в данной конфигурации максимально возможная, а расстояние между вихрями является минимально возможным. Удивительное явление! Невольно возникает ассоциация с энергией связи в альфа-частице – в этом ядре самая высокая удельная энергия связи. Так может быть, в альфа-частице тоже взаимное отталкивание вращающихся протонов полностью изолировано вертикальной осью из двух нейтронов?

При трёх соседях вокруг центрального вихря конфигурация статична – такое явление можно использовать для создания сложной статичной сети, в которой каждый калиброванный вихрь имеет трёх соседей с противоположным направлением вращения. Например, такие тройки будут образовываться при присоединении одного вихря к статичному кольцу из калиброванных вихрей. Удивительное явление! Такая модель позволяет объяснить свойство насыщения ядерных сил.

Итак, мы рассмотрели удивительные свойства линейных вихрей. Оказывается, у них внутри очень низкое давление. Оказывается, они способны жить сотни лет. Оказывается, свойства самодвижущихся вихревых пар и вихревой дорожки Кармана похожи на свойства световых волн. Оказывается, линейные вихри способны взаимодействовать между собой подобно электрическому взаимодействию заряженных частиц. Оказывается, они способны взаимодействовать между собой подобно взаимодействию движущейся заряженной частицы с магнитным полем. Не случайно англичанин Майкл Фарадей предложил силовые линии магнитного поля моделировать вихревыми трубками гидродинамической среды микромира. Используя эту идею, его соотечественник Джеймс Клерк Максвелл в 1855 году впервые записал в дифференциальной форме систему уравнений электродинамики. Мало того, некоторые свойства линейных вихрей аналогичны свойствам нуклонов. Оказывается, силы притяжения вихрей по мощности могут быть сопоставимы с ядерными силами. Оказывается, они способны образовывать устойчивые статические (кольцевые цепочки, например) и динамические конфигурации (пропеллер из трёх вихрей, например) со свойствами ядерных оболочек атома. Оказывается, динамическое взаимодействие трёх линейных вихрей способно объяснить свойство максимальной удельной энергии связи в альфа-частице. Оказывается, статическое взаимодействие четырёх линейных вихрей способно объяснить свойство насыщения ядерных сил.

Модель атомных ядер из линейных вихрей построить нельзя, так как нуклоны имеют сферообразную форму. Но было бы очень интересно рассмотреть на предмет соответствия экспериментальным данным гидродинамическую модель атомных ядер, составленную из сферообразных вихрей.