



Astrei 23 сентября в 11:34

## Голос атомных ядер: собираем магнитно-резонансный магнитометр

Блог компании Timeweb Cloud, Научно-популярное, Физика, DIY или Сделай сам, Электроника для начинающих



Пора уже поближе познакомиться с квантовой физикой на практике! Сегодня я расскажу вам об истории открытия эффекта ядерного магнитного резонанса, но в отличие от классических учебников полных зубодробительного матана мы обратим наш разрушительный для когеренции взгляд на экспериментальную составляющую. С полученными знаниями вы сможете в духе старого доброго DIY собрать несложный прибор, который позволит вживую послушать сигналы ядер атомов водорода а также измерить величину магнитного поля нашей планеты.

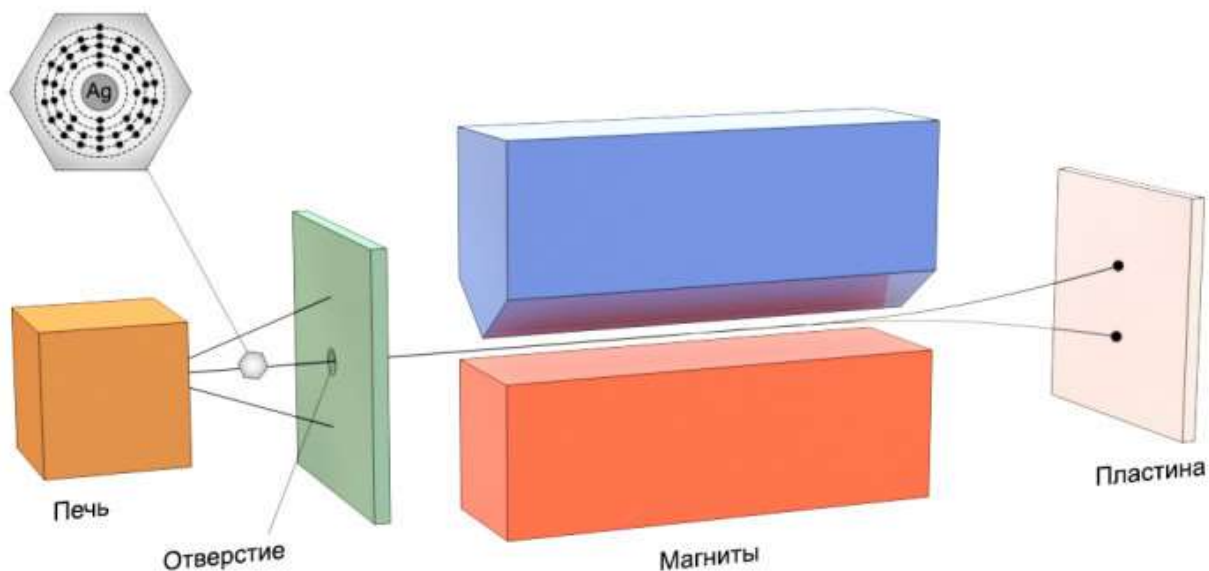
### Немного истории

Где-то сто лет тому назад, физики увлечённо пытались разобраться из чего же состоит наш мир. На тот момент было очень мало известно о том, что же из себя представляют мельчайшие частицы материи – атомы. Резерфорд в своём знаменитом [эксперименте](#)

предположил что атом (уж по крайней мере, золота) это положительное ядро-планета, а вокруг него вращаются отрицательные спутники-электроны. Однако это был полный нонсенс для физиков того времени, так как уже тогда в школах изучали простую истину «положительный заряд притягивается к отрицательному». Ради забавы делали даже расчёты, которые предсказывали что электрон в такой модели должен был бы упасть на ядро за примерно 0.000000001 секунды, на чём история нашей вселенной и закончилась бы. Но Нильс Бор всех спас, введя свои знаменитые постулаты. Он послал подальше классическую механику и заявил, что орбиты электронов в отличие от хорошо уже изученных на тот момент орбит планет, могут принимать только несколько определённых значений. Причём обязательно таких, чтобы атом был стабилен, и никто никуда в нём не падал. Честно говоря, такая модель физикам ещё больше не понравилась, ведь это было скорее похоже на натягивание совы на ~~гнебуе~~ атом. Масла в огонь подлил Арнольд Зоммерфельд, который дополнил модель Бора и предположил, что на этих невообразимо мелких масштабах вообще всё в атоме должно принимать только определённые значения (проще говоря — квантоваться): энергия, угловой момент движущихся электронов и ядер и даже ориентация орбит электронов в пространстве!

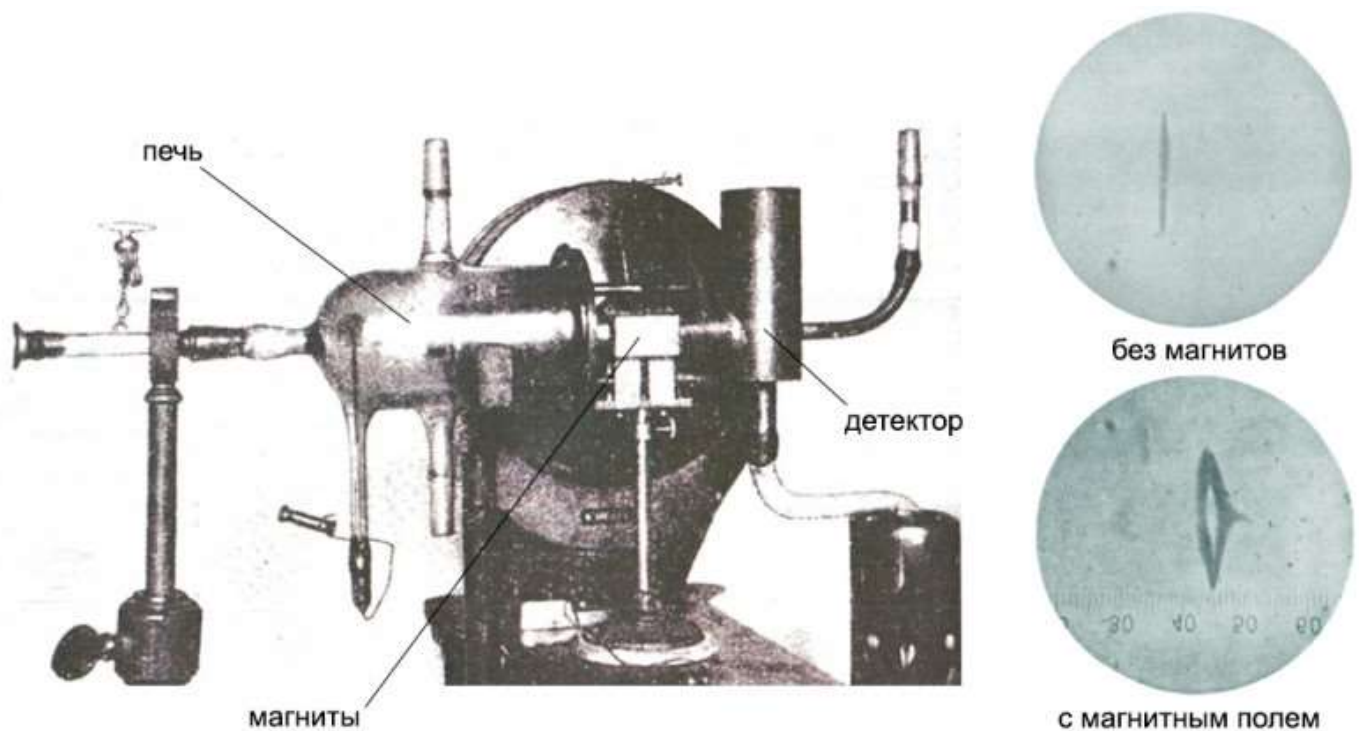
Последнее особенно сильно зацепило Отто Штерна, тоже физика. Он потратил кучу времени на то, чтобы найти способ опровергнуть эту возмутительную теорию, и даже выпросил денег на эксперименты у самого Эйнштейна. Вместе со своим коллегой Вальтером Герлахом они построили установку, которая позволяла бы определить, любую ли ориентацию в пространстве могут иметь орбиты электронов атомов или только несколько определённых. Предположения были довольно простые: как было известно из простейших экспериментов, ток, текущий по кругу в медной рамке, приводит к возникновению магнитного поля. Ток — это поток электронов, следовательно и на атомарном уровне, электрон,двигающийся по орбите, тоже должен создавать своё небольшое магнитное поле, а атом в целом вести себя как маленький магнитик. Выходит, что если пустить поток атомов через неоднородное поле больших магнитов, то в зависимости от того, как ориентирована орбита каждого атома в пространстве, они разлетятся в разные случайные направления, что и можно попытаться зафиксировать.

Установка состояла из печи, которая нагревала серебро до тех пор, пока оно не начинало испаряться (более 1000 °C), после чего его атомы собирались в подобие пучка при помощи заслонки с отверстием посередине. Стоит ли говорить, что всё это, разумеется, происходило в вакууме. Поток атомов пролетал между магнитами и в итоге попадал на пластину — детектор.



*Схема экспериментальной установки Штерна-Герлаха, которую можно часто встретить на страницах учебников. Магнит сверху специально сделан в виде клина, чтобы сделать поле в районе пучка как можно более неоднородным. Для простоты показаны только полюса магнитов, участвующие в процессе (нет, это не монополи!).*

Прожжённый физик конечно скажет, что картинка эта слишком рафинированная. Ведь настоящая установка напоминала собой этакий самовар с кучей непонятных трубочек, вполне в духе своего времени. Эксперимент с ней шёл пару часов, после чего надо было разбирать аппарат и подготавливать всё заново. Вместо отверстия для получения луча из атомов исследователи в итоге использовали щель (с отверстием опыт нормально не получался). Также, в первых попытках след не было видно вовсе и какое-то время коллеги полагали, что луч просто не попадал в пластину. Однако в один прекрасный момент, в процессе пристального разглядывания Штерн имел неосторожность подышать на неё, от чего внезапно рисунок проявился. Оказалось что дешёвые сигары, которые Отто курил порой прямо в лаборатории содержат очень много серы, реакция с которой и приводила к такому эффекту (похоже на байку, но это таки было проверено в 2002 году). В итоге, из-за несовершенства магнитов и сложностей в их юстировке, два отдельных пучка всё равно не расходились полностью, а лишь в середине, но тем не менее, рисовали на стекле первый поцелуй от квантовой физики человечеству:



*Настоящая установка Штерна-Герлаха во всей красе.*

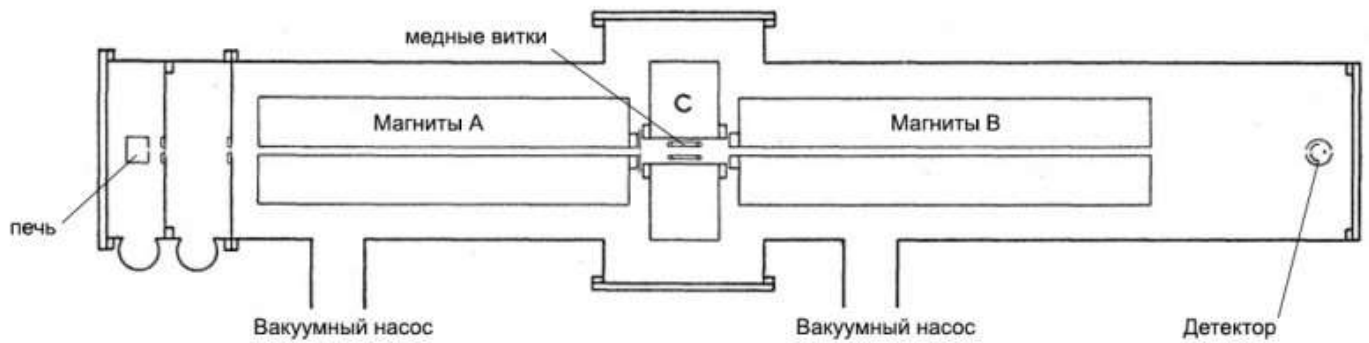
Результат у них получился шокирующим и полностью противоположным их ожиданиям. Вместо опровержения теории они подтвердили её: поток атомов серебра четко разбивался на два пучка, что означало что квантование — это не теоретическая выдумка и математические шуточки, а нечто реальное. И где-то на глубоком уровне наноскопических масштабов магнитные свойства электронов могут принимать только два значения и никаких промежуточных. Исследователи по всему миру тут же стали повторять опыт, дорабатывать его, и писать новые теоретические обоснования и статьи. Было выяснено, что наблюдаемый эффект возникает из-за наличия магнитного момента у одного-единственного электрона, что болтается без пары на внешней орбитали атома серебра. Взяли бы Штерн и Герлах другое вещество для эксперимента, где все электроны парные и компенсируют моменты друг друга, не факт, что у них бы что-то получилось. Так, случайность как минимум дважды сыграла главную роль в этой цепочке событий.

## **Ещё немного истории**

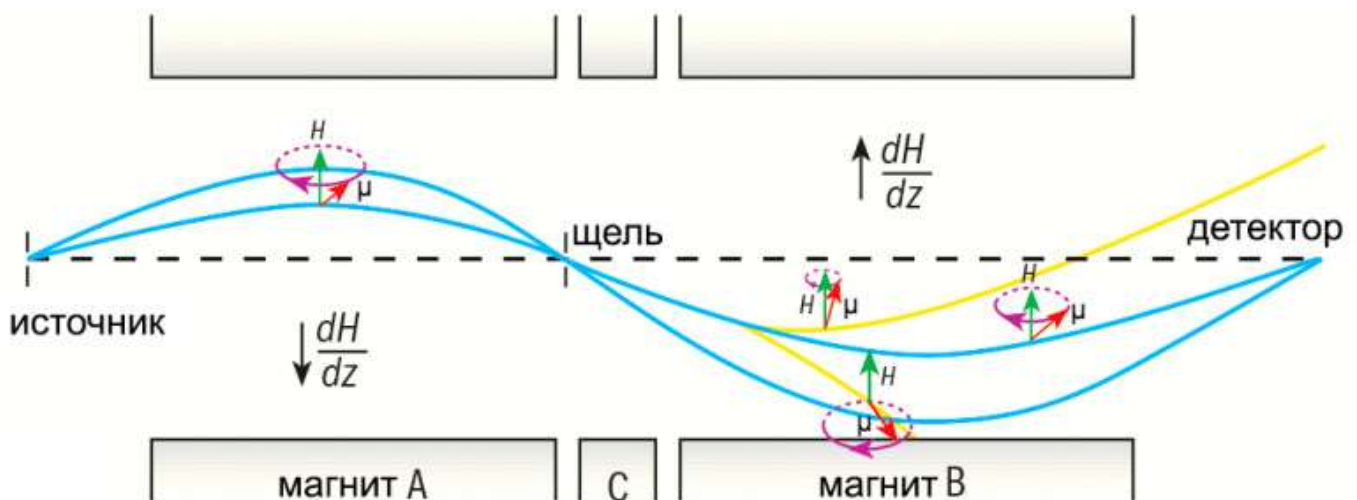
Когда все отошли от первого шока, стало интереснее заглянуть ещё глубже и понять вращаются ли ядра атомов, как и планеты, есть ли у них свой магнитный момент и самое главное, квантуется ли он. В экспериментальной установке Штерна-Герлаха электронные оболочки мешали это выяснить, так как момент электронов был много больше, чем у ядер. Одним довольно логичным решением оказалось использовать в экспериментах вместо атомов целые молекулы. Ведь если два атома с одним внешним электроном образуют молекулу, то магнитный момент оболочек будет скомпенсирован, и станет видно только момент ядер. Таким образом удалось определить, что момент есть в наличии у ядер водорода (протонов), однако точно измерить его не получалось. И тут за дело взялся Исидор Раби. Он улучшил разработку своих коллег, скрестив в своём аппарате сразу две



их секции:



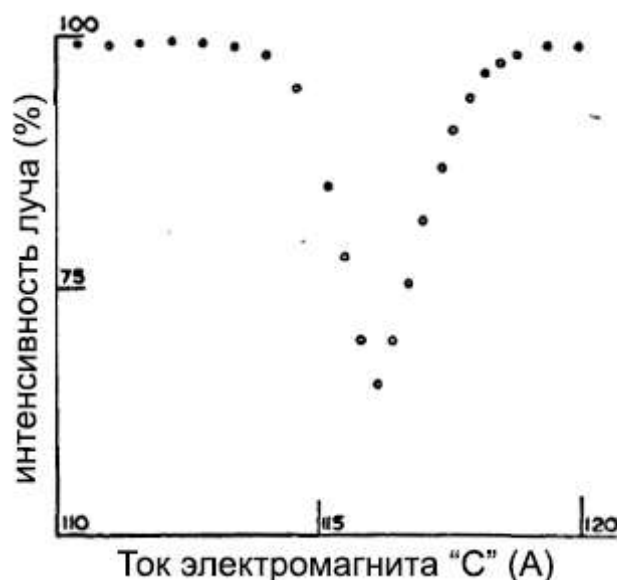
Парные магниты А и В повторяли собой конструкцию Штерна-Герлаха, но при этом технологично были более совершенны. Вместо постоянных везде были использованы компактные и температурно-стабилизированные электромагниты с активным жидкостным охлаждением. Это позволяло точнее контролировать и без того многочисленные переменные величины эксперимента и избавиться от кучи проблем связанных с неодинаковостью параметров молекул в пучках. Предполагалось, что пучок молекул входит в установку немного под углом и дважды изгибаясь снова фокусируется на выходе, где стоит детектор. Он, кстати, тоже стал электронным и курить около него не требовалось:



Хитрость была в том, что пары магнитов А и В были расположены с противоположной друг другу по вертикали полярностью, что и позволяло загибать и разгибать обратно пучки используя только магнитный момент ядер атомов. Две синие кривые на рисунке показывают путь молекул с разной скоростью и угловым моментом. Как бы они ни старались, в середине установки они были в одинаковых условиях и над ними можно было проводить всяческие манипуляции. Именно там Раби разместил третий электромагнит, помеченный как «С» с однородным полем, направленным уже горизонтально и, чтобы совсем стало сложно и научно, ещё и небольшие витки из медных трубочек внутри этого магнита, подключаемые к высокочастотному генератору.

Идея Раби была основана на теории о том, что у молекул, ядер атомов и электронов в постоянном магнитном поле должен быть разный угловой, а следовательно, и магнитный момент. Предпосылки к таким умозаключениям выросли опять же из механики: имея две юлы с разной массой вы скорее всего получите разные скорости их вращения в одном и том же поле тяготения вашей планеты и при прочих других равных условиях. А потому он предполагал, что когда пучок молекул попадает в магнит «С», на вращающиеся ядра составляющих их атомов можно будет выборочно воздействовать при помощи переменного поля подходящей частоты и таким образом переориентировать их в пространстве. Если такое произойдёт, то пучок молекул уже не сможет достигнуть детектора, так как он изогнётся в другую сторону. Именно такая ситуация показана на рисунке в виде перехода синих кривых в желтые.

Раби подавал на медные витки в центре установки фиксированный высокочастотный сигнал 3.5 МГц и менял ток в центральном электромагните, таким образом регулируя величину поля. В какой-то момент было зафиксировано отклонение пучка от детектора, что означало, что магнитный момент ядер поменялся под воздействием внешнего сигнала. Причём важно отметить, что процесс происходил довольно внезапно, то есть носил резонансный характер. Это было свидетельством квантовой природы феномена. Ядра при смене своего магнитного состояния поглощали энергию фотонов только строго определённой величины, и конечно же, количество таких состояний было ограничено:

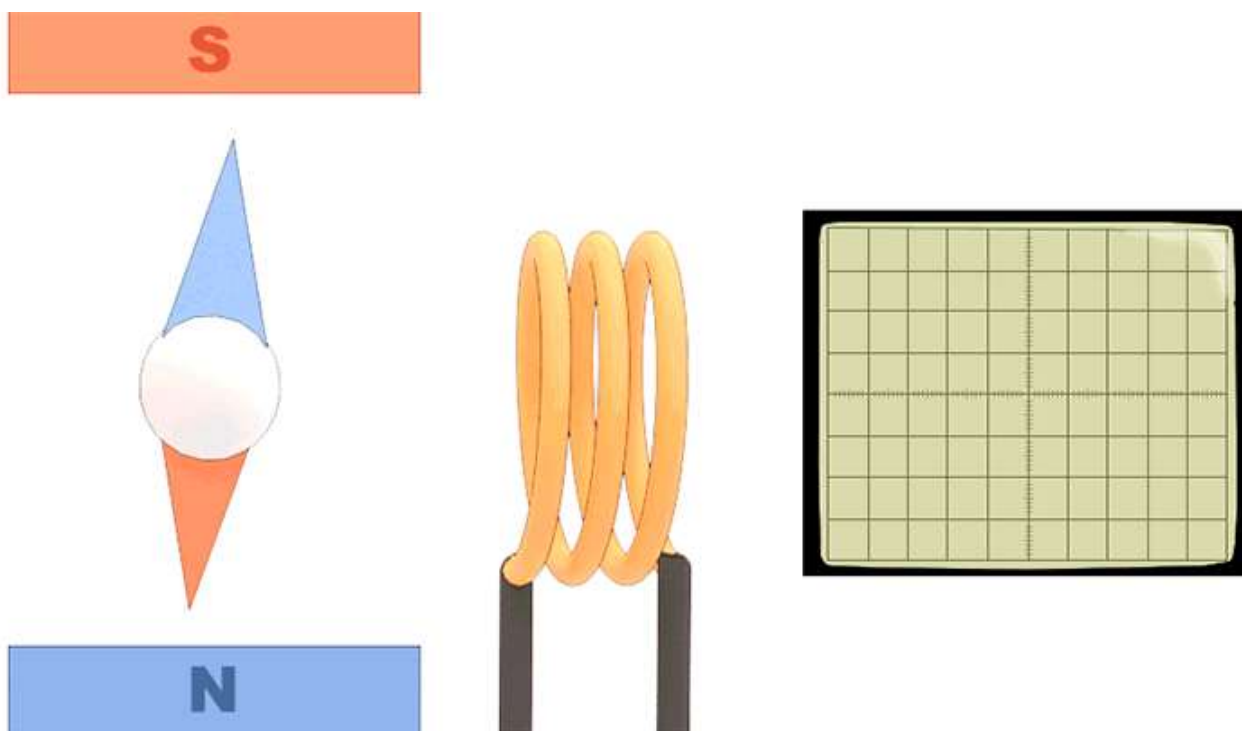


*Первый в мире график, демонстрирующий ядерный магнитный резонанс, именно Раби дал этому эффекту его имя (1938 г.). Получен он на пучках хлорида лития, содержащих изотоп  ${}^7\text{Li}$ .*

Зная параметры процесса, стало возможным с небывалой точностью измерять магнитные моменты ядер разных атомов. Правда даже гениальному Раби на тот момент не пришло в

голову, что открытый им эффект может быть повёрнут с ног на голову и использован где-то ещё кроме экспериментальных вакуумных установок для ядерной физики.

Лишь некоторое время спустя, в разных местах планеты Феликс Блох, Эдвард Пёрселл и Константин Завойский независимо обнаружили, что магнитный резонанс – это не только поглощение энергии ядрами, для смены их магнитной ориентации, но ещё и последующий процесс её высвобождения при их возвращении в предыдущее состояние. Оказалось, что такие сигналы релаксации вполне можно детектировать и в обычных материалах и предметах, а не только с отдельными атомами или молекулами в пучках. Достаточно поместить исследуемый объект в однородное магнитное поле, побеспокоить его другим перпендикулярным полем, и ядра атомов (или электроны) хором начнут отвечать:



*Как измеряются сигналы магнитного резонанса. Стрелка компаса имитирует общую суммарную намагниченность ядер атомов внутри какого-либо объекта. Для их возбуждения на катушку можно подавать постоянный ток, или же сигнал определённой частоты (что, конечно, более эффективно). На экране осциллографа — сигнал релаксации от ядер атомов, снимаемый с той же катушки. Частота его специфична для разных атомов и даже их позиций в молекулах вещества.*

Такой разворот открыл человечеству небывалые перспективы для новых методов определения состава веществ, структур молекул и всякой там томографии при помощи одних только магнитных полей. Все кроме Завойского в итоге получили нобелевские премии, химики – крутейшие спектроскопические анализаторы для лабораторий, а вы — возможность посмотреть, что же там болит в пояснице без какого-либо внешнего вмешательства.

**Дико неэффективный процесс**





технологии человечества. Выручает тот факт, что в одной лишь капле воды атомов водорода будет где-то в районе  $3,34 \cdot 10^{21}$ . Благодаря такому безумному множителю мы уже можем что-то с этим сообразить.

Вообще говоря, водород как будто идеально был создан для магнитного резонанса: он есть практически везде и в больших количествах а его частота прецессии в магнитных полях, которые мы можем технически организовать или даже найти в природе — очень удачно подходит под возможности нашей приёмной электроники. Именно сигналы этого элемента чаще всего измеряют во всех сферах деятельности, где так или иначе замешан ядерный магнитный резонанс. И именно поэтому далее мы будем получать сигналы от протонов водорода в нашем самодельном магнитометре.

### **Ну наконец-то! Переходим к практике**

Итак, довольно историй, пора действовать! Сперва понадобится найти подходящую ёмкость для водорода. Шучу, нам сойдет любая чистая вода, даже из-под кулера в вашем офисе (но в идеале, конечно, дистиллированная). Нужных атомов в ней будет предостаточно. Но тем не менее, не повторяйте моих ошибок и найдите по-настоящему герметичную ёмкость для жидкости. Для выбора её размеров есть ограничения с двух сторон — слишком маленькая бутылочка даст в итоге очень слабый сигнал, слишком большую использовать нецелесообразно экономически, так как впоследствии потребуются намотать вокруг неё катушку медного провода, который сегодня в дефиците. Я остановил свой выбор на баночке из-под жвачки:



*Баночка из-под жвачки избавлена от содержимого и этикетки. Катушка справа — спойлер к дальнейшим действиям.*

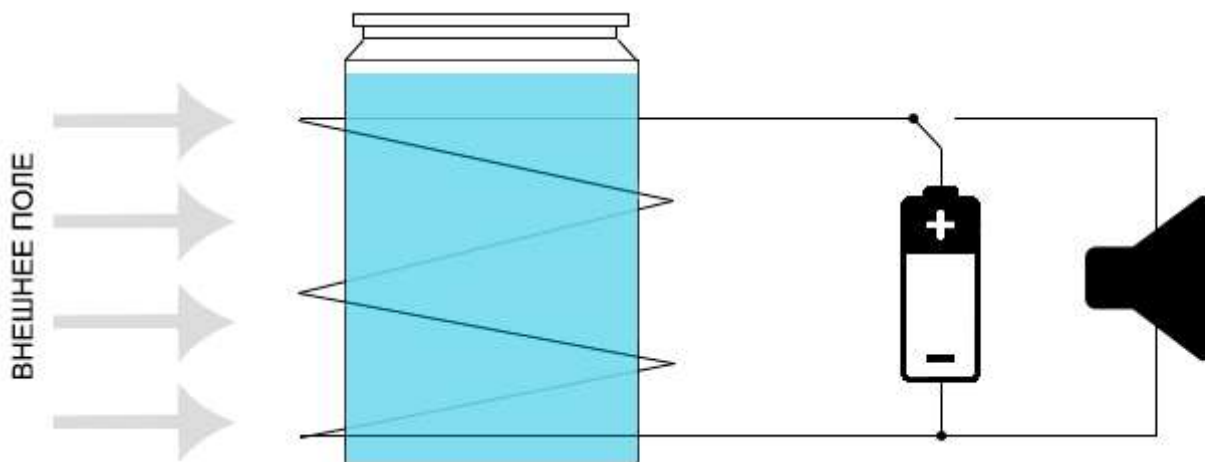
Следующий важный компонент — много медной проволоки. Понадобится как минимум метров 50-80 если речь идёт о диаметре 0.08 мм, который использовал я. В моём случае она была аккуратно выдрана из сломанного двигателя от какой-то бытовой техники. Вообще говоря, чем больше будет у вас проволоки и чем она толще — тем лучше для экспериментов. Проволоку надо намотать прямо поверх бутылки. Я использовал суперклей для фиксации в начале и прямо в процессе. Если вы когда-либо собирали катушку Тесла, то это не вызовет у вас затруднений. Да, нам понадобится значение индуктивности этой самодельной катушки далее, так что если у вас нет приборов для её измерения, то придётся считать витки по ходу дела:



*Мотаем первый слой, не останавливаемся, и также мотаем поверх второй и третий. Резинка на горлышке немного поможет от будущих протечек.*

Данная конструкция будет одновременно служить и для возбуждения протонов в воде и для приёма сигнала от них. Поэтому катушка должна иметь с одной стороны как можно большую индуктивность (много витков), с другой — не слишком большое сопротивление (мало витков). Эти условия как два конца одной палки, поэтому придётся находить баланс, учитывая материалы, которые вы найдёте. Для поляризации протонов на катушку понадобится подавать ток в пределах 250-750 мА, соответственно, если наматываете слишком много, то придётся объединять кучу батареек последовательно, чтобы получить нужный ток. Да-да, именно батареек. Забудьте про любые импульсные источники питания и стабилизаторы, ибо данный процесс будет дико чувствительным к любым помехам. Сопротивление моей катушки получилось около 27 Ом, что потребовало в итоге использования как минимум одного (18 В) аккумулятора от шуруповёрта для получения нужного тока поляризации.

Процесс работы устройства будет выглядеть так:

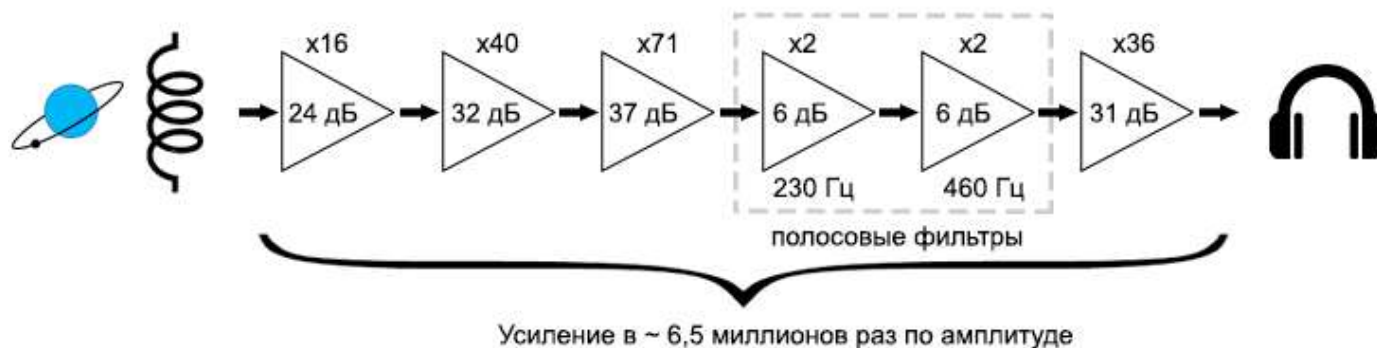


Принцип работы простейшего магнитно-резонансного протонного магнитометра (о-о-очень упрощённый).

Мы поляризуем протоны воды магнитным полем, создаваемым катушкой, а далее подключаем её к аудио-усилителю и слушаем ответные сигналы водорода. Частота сигналов будет зависеть от величины внешнего однородного магнитного поля, в котором находится бутылочка. Где ж его взять? Оно уже здесь вокруг вас, бесплатно предоставлено в пользование нашей любимой планетой Земля. Так удачно совпало, что резонансные сигналы водорода в поле Земли будут в районе 2 кГц, прекрасно слышимых нашими ушами (не зря же выбрали водород!).

## Усилитель

К сожалению, сигналы эти, несмотря на огромное количество протонов в воде, будут категорически слабыми, с амплитудой где-то в десяток микровольт в лучшем случае. Посему просто прицепить к катушке переключатель и динамик как на анимации выше не прокатит, и без специального усилителя тут не обойтись. И спаять его придётся самостоятельно:



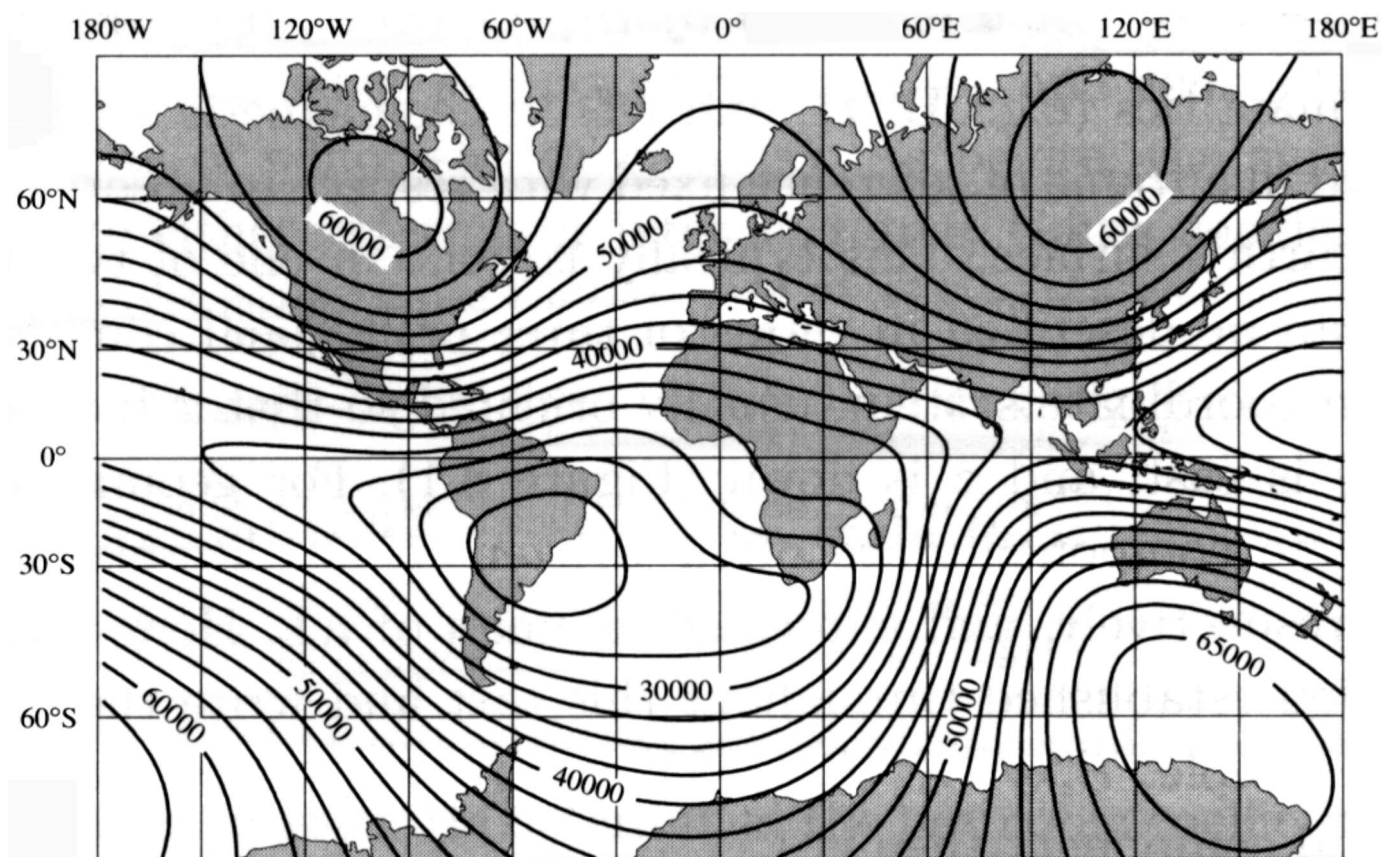
Да, коэффициент усиления будет бешеный, но и мы собираемся тут атомные ядра слушать, а не перфоратор соседа.

Общую архитектуру я скопировал [отсюда](#), хотя компонентно моё решение думаю будет даже проще для повторения. Нам понадобится всего лишь три микросхемы двойных



операционных усилителей. Я использовал то что было под рукой (TL082), но безусловно можно найти и что-то получше. Для данной задачи нужно обратить внимание на такие характеристики как коэффициент шума и входное сопротивление. Чем первая ниже, а вторая соответственно выше, тем будет лучше устройство работать в итоге.

Итак, главная причина, по которой усилитель надо собрать самостоятельно состоит в том, что его конструкция будет буквально зависеть от того, на каком месте планеты вы находитесь. Так как мы задействуем в эксперименте магнитное поле Земли, то перед созданием схемы сначала надо примерно выяснить величину этого поля, после чего получить значение рабочей частоты, а от него уже посчитать номиналы элементов схемы.



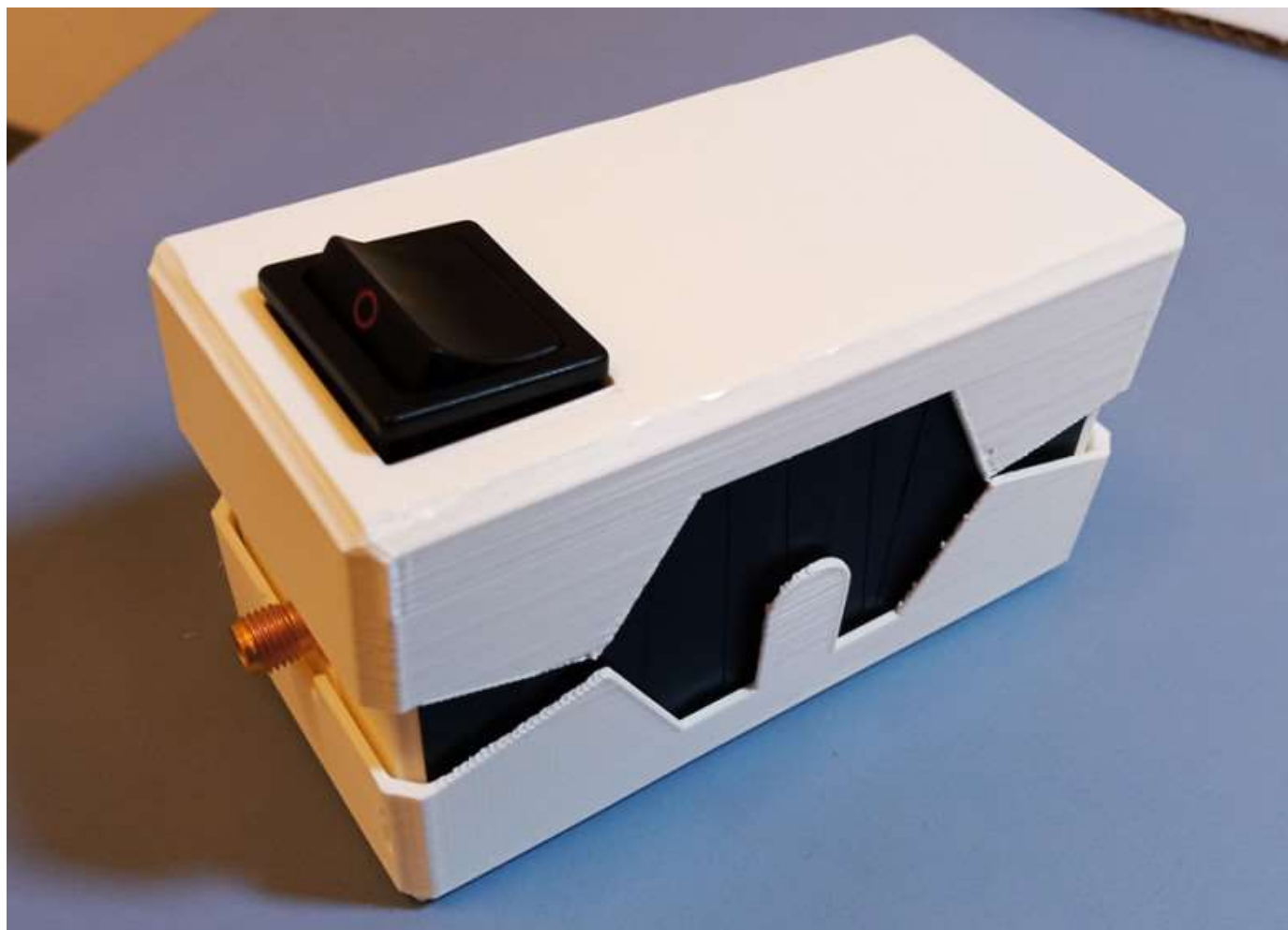
Карта магнитных полей нашей планеты, значения представлены в нанотесла.

По такой карте выходит довольно грубая прикидка, поэтому тут можно схитрить и использовать плоды прогресса. В смартфоне, с которого вы вероятнее всего читаете этот текст, уже есть магнитометр, который можно задействовать для более точных локальных измерений. Также в маркетах много приложений, которые показывают величины для вашей местности (напр. CrowdMag). В моём случае я выяснил величину в 49600 нанотесла. Её нужно умножить на [гиромангнитное соотношение](#) для водорода (42.58) и разделить на тысячу чтобы не было путаницы в порядках. Таким образом у меня вышло 2112 Герц. Это число далее будем использовать для подбора резонансного конденсатора, а также полосовых фильтров в схеме усилителя.

Кстати, вот и она:







*Усилитель в сборе. Внутри платка и две батареи «крона». Кнопка просто выключатель для питания, чтобы не сажать батареи попусту.*

Вход усилителя будет соединяться с переключателем поляризации и далее с катушкой при помощи коаксиальных кабелей, именно поэтому вы наблюдаете SMA разъём спереди. Коаксиальные кабели нужны чтобы защитить и так слабые сигналы от внешних наводок. В целом для этого сойдёт абсолютно любой антенный кабель и разъёмы к нему. Единственное, нельзя размещать никаких магнитных частей около катушки, а саму катушку расположить как минимум в метре от усилителя.

### **Вернёмся к катушке**

Прерывать в катушке индуктивности ток — это очень плохо. Катушки такое не любят и в ответ выдают большое обратное напряжение на своих концах. Разумеется, в таких условиях ничего измерять нельзя. Чтобы избавиться от этого паразитного эффекта, достаточно воткнуть в схему ещё один диод, повесив его прямо на её выводы:



Схема подключения катушки к диоду, переключателю поляризации и усилителю.

Катушка соединяется при помощи длинного кабеля к кнопке с батареей — переключателю режимов «поляризация» и «приём», а та — уже при помощи короткого коаксиала к усилителю.

Итак, если вы таки соберёте всё это дело вместе и включите, в наушниках вы должны услышать знакомое радиоприёмное «пшшш». Да, усилитель (будучи собран без ошибок) будет настолько чувствителен, что вы с его помощью сможете слышать вообще всё: статику от переливающейся воды в ёмкости с катушкой, трение коаксиального кабеля о пол, любые источники электромагнитного излучения, особенно всепроникающие 50 Герц и их гармоники. Даже узкополосные фильтры в нашей схеме увы не помогут это отфильтровать. В такой какофонии звуков пытаться расслышать жалкие сигналы атомных ядер просто невозможно физически. Чтобы прикоснуться к протонной магии, придётся отправиться в путешествие подальше от людей. Только отринувши мирскую суету можно будет познать природу настолько глубоко.



Чем дальше от цивилизации и металлических объектов — тем лучше.

Перед стартом позаботьтесь о подставке для катушки. Измерения лучше проводить в

метре от поверхности земли или выше, там поле более однородное. Я использовал пластиковую палку и распечатал небольшой крепёж для бутылочки:



*Следы на катушке — это излишки суперклея.*

Снизу крепления я сделал градуированную шкалу с шагом 22.5 градуса. Дело в том, что максимально эффективно процесс релаксации протонов будет происходить только когда бутылочка ориентирована в направлении на запад или восток. Нормального компаса у меня под рукой не было, и я решил сделать серию измерений, чтобы точно не ошибиться.

#### ► вся установка в одном кадре

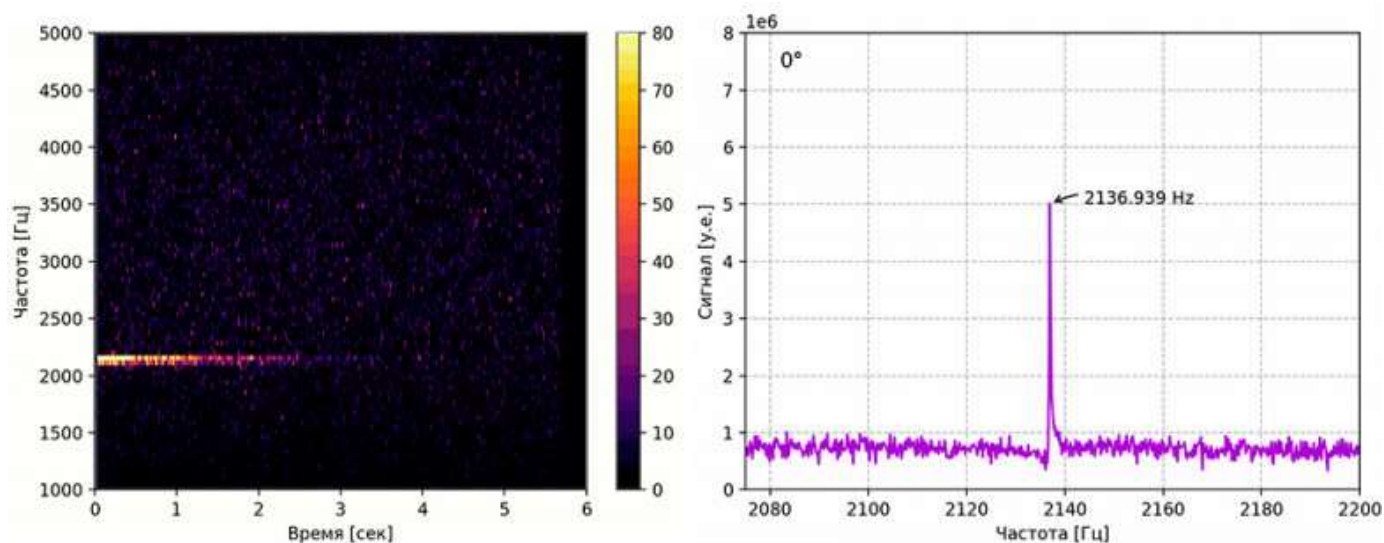
Итак, когда все условия будут соблюдены, после нескольких секунд поляризации вы услышите его:





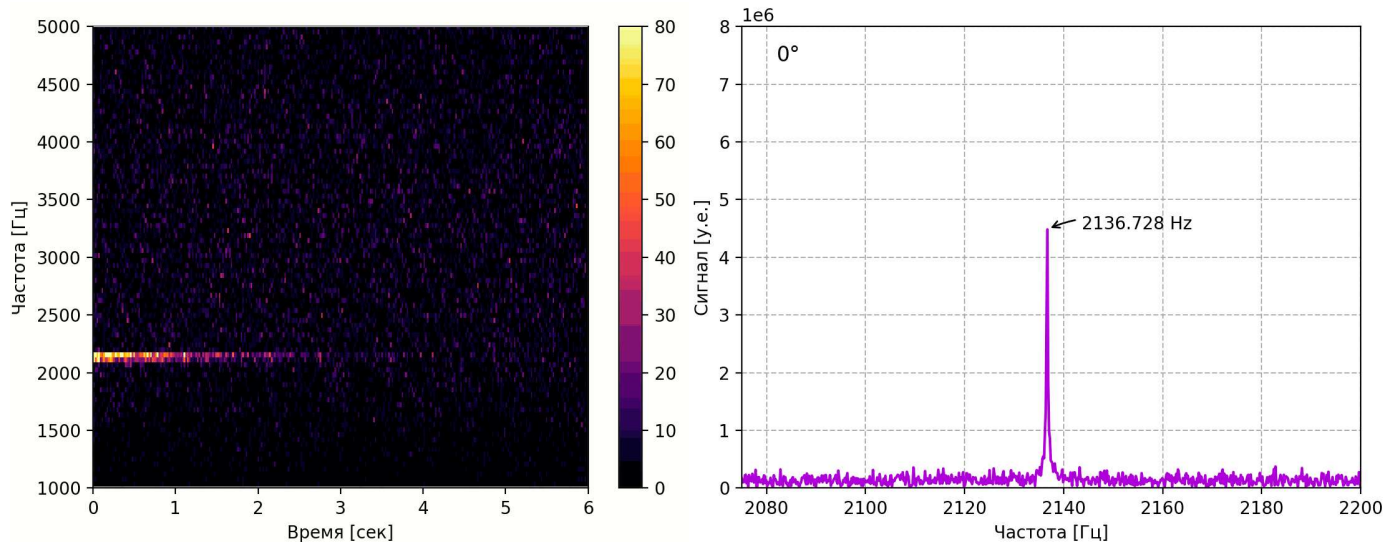
[Privacy policy](#)

Первый щелчок на аудио обозначает старт тока через катушку и начало поляризации, а второй возникает при переключении в режим приёма. Именно протяжный угасающий звук колокольчика после второго щелчка — это и есть далёкий чарующий голос протонов, доносящийся из глубокой бездны ядерных масштабов. Длится он целых пару секунд, так что перепутать его с чем-либо ещё будет сложно. Построим в `matplotlib` спектрограмму этого сигнала:



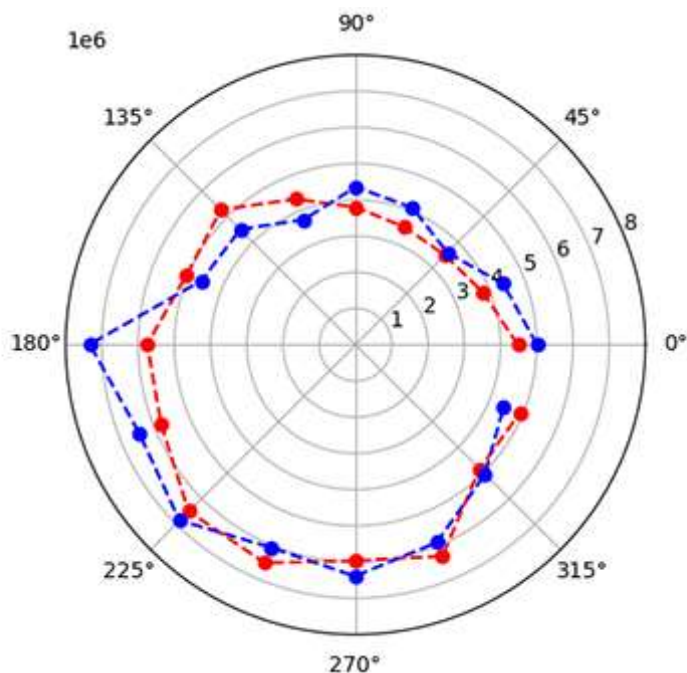
*Это спектры шестисекундного отрывка со стартом от второго щелчка.*

Измеренная частота довольно близко оказалась к расчётной! Далее я провёл измерения сигнала в разных положениях поворота бутылочки, чтобы найти заветное направление запад-восток.



*Что интересно, частота не сильно менялась от измерения к измерению.*

Тут меня ждал сюрприз, так как по ожиданиям должно было быть два максимума за полный оборот, а вместо этого, я получил один. Я провёл два раунда таких измерений, поворачивая бутылку сначала по часовой стрелке, затем против неё, пока не заметил, что вода в ней заметно нагрелась от тока, периодически текущего по катушке, на чём я и решил остановиться. Результаты я представил в виде диаграммы направленности:



*График зависимости максимальной амплитуды сигнала от угла поворота бутылочки. По идее тут должна была быть «восьмёрка», но что-то пошло не так.*

Такой результат вышел очень занятным, в качестве варианта объяснения, я могу предположить, что бутылочка была слегка под наклоном, а из-за того, что её конструкция не позволяла наполнить её доверху, там был воздушный пузырь, который переходил из одного её конца в другой, меняя количество воды внутри катушки, а соответственно и



протонов. На этом мои эксперименты подошли к концу, а вот возможные применения для приборчика — нет.

## Ну и зачем это всё?

Итак, полученный девайс не зря называется магнитометром. В первую очередь, он позволяет точно измерить величину магнитного поля планеты, достаточно использовать формулу для расчёта рабочей частоты в обратную сторону (мой результат 50186 нанотесла). Поле Земли непостоянно, и можно следить за его сезонными и годовыми изменениями, чтобы, например не проворонить переполюсовку. Также такой магнитометр можно использовать в [археологических](#) изысканиях, чтобы находить следы древних строений и их фундаментов, а ещё строить всякие интересные [карты](#), привязав измерения к координатам GPS.

Далее, можно сделать две такие бутылочки и повесить их на концы длинной палки. В таком случае мы получим металлоискатель, работающий за счёт разницы резонансных частот протонов. Если в магнитном поле будут локальные неоднородности, то такая конструкция позволит их отыскать. Она, кстати, была предложена впервые аж в 1967 году,

### ► [за много лет до этих всяких МРТ](#)

Кроме того, никто не заставляет ставить эксперименты только над водой. Можно залить и любую другую жидкость, где есть протоны и измерить резонансные частоты ядер в ней. Кто-то даже строит в таких условиях целые спектры. Конструкцию приёмника, для этого правда, придётся доработать, так как в данной статье она узкополосная.

Если добавить к этой штуке градиентные обмотки и какую-нибудь ардуину, то можно получить простейший аппарат МРТ для применения в полях. Он, конечно, будет очень долгим и разрешение картинок будет оставлять желать лучшего, но зато не требует никакого гелия и записи на приём за неделю.

## Итог

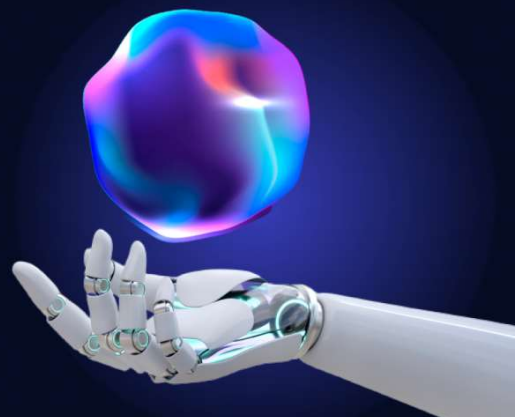
Вот такой получился рассказ. Я надеюсь, что вы, как и я оценили объём практической и теоретической работы, который стоит за этим маленьким «дзынь», еле слышимым в наушниках. Квантовый мир хоть и окружает нас повсюду, но в тоже время он такой же далёкий, как и космос. Сегодня мы немного побыли в роли астрономов, которые развернули свои телескопы в другую сторону шкалы масштабов. Мир вокруг нас интересен в каждой мельчайшей детали, и поразительно как при помощи бутылки с водой и мотка проволоки можно немного коснуться самой его сути.

timeweb > cloud

## Облачный сервер за 6 рублей

С безлимитным трафиком и гарантированной долей CPU 100%

Перейти



**Теги:** Ядерный магнитный резонанс, ЯМР, атомы, ядерная физика, МРТ, электроника, усилители, магнитометр, магнитные поля

**Хэбы:** Блог компании Timeweb Cloud, Научно-популярное, Физика, DIY или Сделай сам, Электроника для начинающих

### Редакторский дайджест

Присылаем лучшие статьи раз в месяц

Электронпочта



Timeweb Cloud

Облачная платформа для разработчиков и бизнеса



215

Карма

-2

Рейтинг

**Егор Кретов** @Astrei

Инженер-исследователь

Задонатить

Комментарии 68



Jury\_78

23.09.2022 в 12:36

Познавательно, спасибо!

По мне, так еще конденсаторы по питанию наверно не помешали бы. Дроссели по питанию лучше намотать на кольцах меньше помех ловить будут, а можно их просто заменить на резисторы.

 +7 [Ответить](#)



**Astrej**

23.09.2022 в 13:53

Да, тут непаханное поле для усовершенствований. Но я действовал из принципа "минимум деталей . максимум результата".

 +4 [Ответить](#)



**Techno\_ID**

23.09.2022 в 19:58

Если Вы планируете использовать этот прибор для дальнейших исследований, то можно его улучшить простыми методами. Для начала датчик нужно сделать из двух катушек на одном каркасе, инфа есть в нете. Это значительно улучшит соотношение сигнал/шум. Плюс обязательно экранировать датчик, не допуская образования "короткого витка" по экрану.

 +7 [Ответить](#)



**Astrej**

23.09.2022 в 20:15

Да, я видел такие конструкции, в них беда в том что половина катушки не участвует в процессе. Есть ещё более крутое решение - сделать тороид, ему будет всё равно какая ориентация относительно поля Земли, и к экрану он менее чувствителен. Я даже изначально хотел сделать его, но ёмкость такой формы сложно найти.

 +3 [Ответить](#)



**vvzvlad**

23.09.2022 в 21:26

А если напечатать?

 0 [Ответить](#)



**Astrej**

23.09.2022 в 21:31

Как вариант, но лучше наверное на фотополимерном принтере.

 0 [Ответить](#)



**vvzvlad**

23.09.2022 в 21:32

Фотополимерник есть, если сделаете модель или опишете как она должна выглядеть, напечатаю

 +2 Ответить



 **Astrej**  
23.09.2022 в 21:33

Спасибо за предложение, я подумаю над этим.

 0 Ответить




 **Techno\_ID**  
23.09.2022 в 21:53

Почему не участвует, вполне себе участвует. Еще лучше сделать датчик по типу керосинового датчика от ММП-203, информация также есть в сети. За тором я бы не гнался, делал -не понравилось. На мой взгляд, минусов там больше, чем плюсов.

 +3 Ответить



 **Astrej**  
23.09.2022 в 22:06

Видимо мне больше попадались любительские конструкции, там вторая катушка выступала только в роли нейтрализатора внешних помех благодаря противоположной намотке. Жидкость при этом была лишь в одной. Ещё видел две приёмные катушки внутри большой передающей.

Интересно, я как то прошёл мимо ММП-203 когда искал информацию.

 0 Ответить



 **Techno\_ID**  
24.09.2022 в 00:10

На вскидку попалось это <http://md4u.ru/download/file.php?id=21473> . Для экспериментов вполне годный вариант.

 0 Ответить




 **avitek**  
23.09.2022 в 12:54

Отличная статья! Такие тут нынче редкость...

Вопрос: такое долгое время "накачки" (несколько секунд) действительно необходимо? Что будет, если уменьшить его на порядок или два - уменьшится амплитуда "звона"?

 +5 Ответить



 **Astrej**  
23.09.2022 в 13:50

Да, величина сигнала зависит от времени поляризации. Для поля Земли надо где-то три секунды, но я ждал немного больше, чтобы наверняка. Если сократить это время на порядок, то поймать скорее всего ничего не выйдет. В профессиональных магнитометрах, работающих

по схожему принципу время поляризации смогли приблизить к одной секунде. Этого можно добиться заменой воды на другую жидкость, например спирт.



Ещё есть проблема с последовательными измерениями, если начинать следующую поляризацию не дожидаясь пока отклик затихнет полностью, то постепенно каждый следующий сигнал будет меньше и меньше по амплитуде. В этом плане такие магнитометры конечно хуже своих коллег.

 +5 [Ответить](#)  

 **sergej\_pipets**  
23.09.2022 в 14:13 

А если чередовать направление тока в поляризациях?

 +4 [Ответить](#)  

 **Astrej**  
23.09.2022 в 14:35 

О, а вот это интересный вопрос. Думаю надо проверить.

 +2 [Ответить](#)  

 **avitek**  
23.09.2022 в 16:06 

... если начинать следующую поляризацию не дожидаясь пока отклик затихнет полностью, то постепенно каждый следующий сигнал будет меньше и меньше по амплитуде.

А "житейский опыт" показывает, что должно быть наоборот. Чудный квантовый мир...

 +2 [Ответить](#)  

 **Techno\_ID**  
23.09.2022 в 19:48 

И Вы, и уважаемый Astrej по-своему правы:-). Дело в том, что сигнал может быть как больше, так и меньше по амплитуде. Есть такое понятие, как "синхронная поляризация". Его смысл состоит в том, что время начала поляризации для последующего измерения синхронизируется с фазой "остаточного" сигнала прецессии от предыдущего измерения. Т.е. имеет место "эффект маятника" - прилагая одно и то же воздействие, но в разные периоды времени, мы можем как увеличить, так и уменьшить амплитуду качающегося маятника. Этот эффект используется практически во всех серьезных протонных магнитометрах.

Если же не использовать синхронную поляризацию и поляризовать рабочее вещество при наличии остаточного сигнала прецессии, то можно наблюдать произвольное изменение амплитуды сигнала, которое может быть как выше, так и ниже "номинала". "Номинал" в данном случае - амплитуда сигнала прецессии при поляризации в то время, когда остаточного сигнала от предыдущего измерения уже не наблюдается.



 +9 Ответить



**Techno\_ID**  
23.09.2022 в 19:48

И Вы, и уважаемый Astrei по-своему правы:-). Дело в том, что сигнал может быть как больше, так и меньше по амплитуде. Есть такое понятие, как "синхронная поляризация". Его смысл состоит в том, что время начала поляризации для последующего измерения синхронизируется с фазой "остаточного" сигнала прецессии от предыдущего измерения. Т.е. имеет место "эффект маятника" - прилагая одно и то же воздействие, но в разные периоды времени, мы можем как увеличить, так и уменьшить амплитуду качающегося маятника. Этот эффект используется практически во всех серьезных протонных магнитометрах.

Если же не использовать синхронную поляризацию и поляризовать рабочее вещество при наличии остаточного сигнала прецессии, то можно наблюдать произвольное изменение амплитуды сигнала, которое может быть как выше, так и ниже "номинала". "Номинал" в данном случае - амплитуда сигнала прецессии при поляризации в то время, когда остаточного сигнала от предыдущего измерения уже не наблюдается.

 0 Ответить



**iliasam**  
23.09.2022 в 13:42

Без воды в емкости работу устройства проверяли?  
Точно ли нет "звона" при отсутствии воды?

 +5 Ответить



**Astrei**  
23.09.2022 в 13:58

Без воды звона нет. Также его нет если рядом хоть немного слышна какая-либо помеха или если поляризация слишком короткая. К тому же всякие автоколебания контуров не длятся несколько секунд, а на порядок короче.

 +7 Ответить



**Jury\_78**  
23.09.2022 в 14:10

А от пластика можно получить ответ? Там же водород есть.

 +1 Ответить



**Astrei**  
23.09.2022 в 14:36

По сравнению с водой можно считать что и нет практически. Но в принципе это возможно, правда не в поле Земли. В клиническом аппарате МРТ (1.5 T) я получал сигнал от резины.

 +6 Ответить



 **sim2q**  
23.09.2022 в 14:23

Спасибо за статью, давно не паял, аж соскучился.  
Параллельно питанию ОУ, особенно там где что после дросселей обязательно надо поставить по паре конденсаторов 10-47uF электролит и 0.1 керамику.  
Или возможно сейчас уже обходятся только керамикой необходимой ёмкости.  
ps но потом я долистал до картинок конструкции - тут уже ничего не поможет :)

 +6 Ответить






 **webhamster**  
23.09.2022 в 16:11

Я не понял схему установки Штерна-Герлаха. Что они измеряли?  
Имеется в виду, что электрически нейтральный атом серебра (не ион) отклонялся в магнитном поле за счет того что на последней оболочке был один электрон без пары?

 +3 Ответить



  **Astrei**  
23.09.2022 в 16:42 

Всё верно. Но тут самая суть в том как отклоняется. Внезапным оказалось то, что вариантов для отклонения атомов только два. Это сильно противоречило классической механике, которая предсказывала что пучок пройдя через магниты отклонится во все возможные стороны, то есть просто должно было быть размытое пятно на пластине. А потом ещё поставили несколько установок последовательно и там такие чудеса начались, что дошли до того, что наш мир случаен на фундаментальном уровне.

UPD: К сожалению так не смог найти ссылку на простую статью, которую когда-то встречал. Там в доступной форме было описано как от первого опыта Штерна-Герлаха плавно переходят к нескольким установкам последовательно и к неравенству Белла, проверяя его. Похожее есть в [вики](#), но довольно сложным языком.

 +4 Ответить



 **johnfound**  
23.09.2022 в 16:21

Автор физику может и знает, а вот в электронике... Без обид, но там дела грустные.

 +1 Ответить



  **Astrei**  
23.09.2022 в 16:34 

"Если это выглядит глупо, но это работает, то это не глупо" (с). Это же прототип, на котором я опыты ставил. Разумеется на его основе можно далее сделать нормальную экранированную

плату по всем правилам схемотехники с многомесячным ожиданием доставки с завода.

 +10 [Ответить](#)



 **johnfound**  
25.09.2022 в 15:40



Я не говорю о исполнении. Хоть навесным монтажом.

У вас нет понимания электроники – как всё работает и почему эти элементы а не другие. Чего стоят только дроссели, намотанные на полых металлических цилиндриках – а ведь потери у них будут гигантскими и они по сути свою роль не выполнят вообще.

Нет ёмкости в цепях питания. Почему? Неясно.

Первые три ступени усилителя связаны по постоянному току с усилением в 45000 раз. Да они просто насытятся и все. (А вы измеряли вообще что на выходах этих усилителей?)


Тот полосовой фильтр который вроде должен был отфильтровать наводки, по сути очень пологий и работать не будет.

Откуда вообще вы взяли этот коэффициент усиления в 6 миллиона раз? Если ожидаете напряжение в несколько мкВ, то вам нужен коэффициент усиления примерно в 100000, ну в край 200000. Но никак не миллионы.

Ваше счастье что средне и длинноволновое радиовещание не работает, а то слышали бы музыку на своём усилителе и всё.

 +5 [Ответить](#)



 **Astrei**  
25.09.2022 в 16:09



Да, ваши замечания верные, учту это при доработках. Коэффициент теоретический, рассчитан из прикидок получить 136 дБ суммарного усиления (~6.3 млн раз по напряжению), зависил до 6.5, каюсь. Характеристики фильтра тоже стоит бы измерить чтобы сравнить с теорией.

Дроссели тем не менее свою функцию выполняют на ура. Увы под рукой не было ничего лучше когда собирал. Катушки как им и полагается должны блокировать всё что не постоянный ток. Какой у них импеданс на 2кГц я не знаю, но опыт показал что достаточный. Без них каскады перенасыщаются из-за паразитной обратной связи по линиям питания.

 +1 [Ответить](#)



 **johnfound**  
25.09.2022 в 18:55



Катушки как им и полагается должны блокировать всё что не постоянный ток.

Индуктивности так не работают. Они в принципе ничего не «блокируют», тем более «всё».

Я бы посоветовал поиграться с LTSpice/PSpice

 +3 [Ответить](#)



**Astrei**

25.09.2022 в 19:46



Ну тут вы уже к словам придираетесь. Под словом "блокирует" я имею в виду, что импеданс катушки индуктивности растёт с частотой. Как вы верно заметили, можно построить АЧХ последовательно включённой катушки в LTSpice, чтобы в этом убедиться. Это будет происходить вплоть до собственной резонансной частоты элемента (которая для такой мелочи как в моём примере скорее всего будет далеко за пределами наших интересов и возможностей АЦП).

Вот на этом диапазоне катушка ведёт себя как простейший фильтр НЧ, хоть и с пологой характеристикой. Постоянный ток будет течь через неё встречая только активное сопротивление обмоток, а вот на 2 кГц там будет уже какая-то большая величина импеданса. Исходя из этого, простым языком я могу выразиться что она "блокирует" сигналы, отличные от постоянного тока. Да, она не блокирует "всё", и мотать на глаз как я катушки не стоит. Но в данном конкретном случае для данного рабочего диапазона частот в моей схеме этого оказалось вполне достаточно.

Повторюсь, то что выглядит глупо иногда таковым не является. Ёмкости в питании тоже иногда можно не ставить, особенно когда до батарейки меньше сантиметра провода. Да, это неправильно с профессиональной точки зрения, но работать скорее всего будет, что я и продемонстрировал. С претензиями я согласен, но в качестве аргумента всегда могу показать работающий девайс. Для любительского хобби уровня он вполне годится.

 +1 [Ответить](#)



**johnfound**

26.09.2022 в 10:06



А вы попробуйте запустить не частотный, а transient анализ вашей схеме. Частотный анализ можно проводить, только если схема вообще рабочая. А ваша схема таковой не является.

Например, типичное напряжение смещения TL082 составляет примерно 3мВ. Первые три ступени усилителя связаны по постоянному току и у них общее усиление 45000 раз. Умножаем на 3мВ и получаем 136В – усилитель пойдет в насыщение и на выходе будет или +8.5В или -8.5В. Сигнал пройдет эти три ступени только если его амплитуда на входе больше напряжения смещения – т.е. 3мВ.

Я повторю – у вас нет понимания реальной электроники.

П.С. Кстати, если вы этим усилителем, что-то да услышали, говорит о том, что полезный сигнал вашей установке намного выше предполагаемого. Что не делается, все к лучшему. :)

 +2 Ответить



 **johnfound**  
26.09.2022 в 15:59

Вот модель, поиграйтесь:

▶ [LTSpice модель первых 3 ступеней усилителя](#)

Напряжение смещения смоделировано внешними источниками, так как LTSpice его не моделирует.

Источник входного напряжения сделан так, потому что из-за неизвестных причин синусоидальный источник микровольтового диапазона нельзя правильно смоделировать. Поэтому сделал амплитуду 1мВ и разделил на 100 делителем напряжения.

Индуктивности в питания задавал как 100мкГ хотя, как по мне у вас они ниже. На частотах 2кГц влияние они не оказывают никакого. Может быть предотвращают самовозбуждение в пределах нескольких МГц.

 +2 Ответить



 **Astreï**  
26.09.2022 в 17:16

Хорошо, спасибо. Насчёт напряжения смещения замечание дельное, буду изучать. Но где-то должна быть нестыковка, раз сигнал всё-таки проходит. Его амплитуда не должна быть больше десятка микровольт по идее.

Надо более обстоятельно подойти к вопросу в следующий раз и проверять все расчёты измерениями.

 0 Ответить




 **johnfound**  
26.09.2022 в 20:32

В модели видно, что даже если и усилитель насытился, какой-то сигнал все-таки проходит. Просто коэффициент усиления уменьшается от 45000 примерно до 400..500. Потом те ступени, которые связаны только по переменному току усиливают сигнал еще 144 раз и подают в телефон. А ухо, оно штука чувствительная услышит и милливольты.

Кстати, я считаю, что полезный сигнал у вас заметно выше этих 10мкВ.

 +2 Ответить



 **Astreï**  
26.09.2022 в 22:18

Ну, чтобы это проверить, надо уже нормальный усилитель собрать тогда.  
Спасибо за советы!

0 Ответить



**sergej\_pipets**  
27.09.2022 в 12:27

Латунный сердечник уменьшает индуктивность катушки (дроссели намотаны на латунных трубочках); питание следует подавать со стороны самого сильного сигнала, фильтруя его к входным слаботочным, вместо L лучше использовать RC-фильтрацию. О смещении уже упомянули...

Усиления по каскадам можно было глянуть и в оригинальной схеме - там каждый каскад сделан всего на одном транзисторе, это не более сотни усиление.

+2 Ответить



**Samid777**  
29.09.2022 в 18:39

А можно, чтобы все работало, охватить общей обратной связью сразу 3 каскада?

0 Ответить



**johnfound**  
29.09.2022 в 19:48

Не получится – самовозбудится так, что запаритесь делать частотные коррекции. Да и незачем. Я бы снизил число ступеней (меньше шума) и сделал бы круче полосовой фильтр.

0 Ответить



**Jury\_78**  
23.09.2022 в 16:39

Если б было наоборот то было бы хуже... :)

+2 Ответить



**K\_Chicago**  
23.09.2022 в 19:48

мне понравился этот пост, он в стиле тех чудесных страниц "сделай сам" которые публиковали в 70-х в журнале Scientific American. Помню, там было подробное руководство как построить дома газовый лазер с помощью в основном кухонных аксессуаров (ну и синей изолентны).

Это прекрасная демонстрация тонкого эффекта, применяемого в безумно дорогих устройствах (ЯМР спектрометр, томограф).

А если отвлечься от "вау-эффекта", то как сравнивается чувствительность полученного



устройства с легкодоступными микросхемами-магнитометрами, например [HMC5883](#), имеющих разрешение несколько миллигаусс?

 +8 [Ответить](#)



**Astreï**

23.09.2022 в 20:03



Честно, даже не знаю как сравнить. Думаю для этого надо будет найти поверенный лабораторный прибор и использовать в качестве эталона. В целом профессиональные протонные магнитометры очень точные, с разрешением в доли нанотесла (единицы микрогаусс). Моя поделка конечно очень далека от профессиональных, но фора тут довольно большая, так что может и побьёт.

 +2 [Ответить](#)



**vvzvlad**

23.09.2022 в 21:28

Ваааау. У меня на абзаце после аудио аж слезы на глаза навернулись, я не шучу. Очень круто.

 +4 [Ответить](#)



**iliasam**

23.09.2022 в 21:31



Не пробовали подносить магнит помощнее к конструкции, и смотреть, как изменится частота сигнала?

Не было идеи засунуть всю конструкцию в самодельную клетку Фарадея (к примеру, ящик, обклеенный фольгой)?

 0 [Ответить](#)



**Astreï**

23.09.2022 в 21:36



Тут надо наоборот послабее, даже обычная железяка поле Земли искажает своим присутствием. Именно поэтому можно как металлоискатель прибор использовать после модификаций. Но я пока в такой роли не пробовал его задействовать.

 +1 [Ответить](#)



**habrabkin**

23.09.2022 в 22:13



Будет это ли темой новой статьи?

 0 [Ответить](#)



**Astreï**

23.09.2022 в 22:24



В целом тема интересная, хотя я никогда не думал что буду геоизмерениями заниматься. Если получится доработать конструкцию по нормальному, то почему бы и нет.

 +2 [Ответить](#)



 **Daddy\_Cool**  
24.09.2022 в 00:46

Очень интересно! Спасибо!

Про намотку катушек - я наматывал так, бобину (то на что наматываем провод) на токарный станок, на патрон цепляем магнитик, под патрон - кладем телефон с запущенной программой "Magnetic counter", она считает импульсы магнитного поля. Намотал так две катушки ~ на 1000 витков.

 +5 [Ответить](#)




 **E\_I\_P**  
24.09.2022 в 14:44

Очень интересно! Но провод, судя по фотографиям, конечно не 0,8 мм, а 0,08.

 +4 [Ответить](#)



 **Astrei**  
25.09.2022 в 20:04

Да, вы правы. Перемерял, и похоже диаметр где-то 0,08-0,1 мм. У меня было много разной проволоки, вот и перепутал в итоге. Исправил в статье, спасибо!

 +1 [Ответить](#)



 **alien308**  
24.09.2022 в 21:11

Спасибо огромное!!! Лет 30 назад собирался сваять что-то подобное, но по прикидкам одни шумы должны были ловится. Оказывается нет.

 +3 [Ответить](#)



 **Didimus**  
25.09.2022 в 20:36

Только я не услышал ничего?

Слушал на смартфоне

 0 [Ответить](#)



 **Astrei**  
25.09.2022 в 22:06 

Звук довольно тихий, его лучше слышно в наушниках. Ещё громкий щелчок его перебивает, можно после него кликнуть попробовать.

 +2 Ответить



**tormozedison**  
26.09.2022 в 22:56

Слышно там всё, но не как звон, а скорее как тихий визг.

 0 Ответить



**odiemius**  
26.09.2022 в 03:51

Отличная статья!

Я как раз недавно перелопатил гору литературы о том, как разваивались ЯМР-спектрометры, так как потихоньку строю собственный. Если мне удастся различить протоны в бензойной кислоте то результат меня вполне устроит :) И ведь прибор по сути простой.

Как уже в этой статье показано автором: нам надо передатчик + исследуемый образец в магн поле + чувствительный приёмник. Вот только для ЯМР требования к равномерности магнитного поля очень строгие.

Современные цифровой методы обработки сигналов творят чудеса.

То, что ранее казалось невозможным, например, бесконтактное определение, добавляли ли в сироп дополнительно сахар, или всё сварено целиком из натурального, говядина из забитых животных, или умерших иной смертью, вино с добавлением постороннего спирта/сахара при брожении, или всё было натурально только из ягод... теперь за пару минут всё узнаётся.

Кстати, искатели пластиковой врывчатки в багаже пассажира аэропорта тоже вполне сейчас вполне могут использовать ЯМР для бесконтактного считывания благодаря разработкам MOUSE.

Даже контроль за полнотой прохождения реакций синтеза уже делается бесконтактным методом без извлечения и разделки проб реакционной смеси :)

Офигенные перспективы сейчас открылись!

 +2 Ответить



**michael\_v89**  
26.09.2022 в 14:00

электрон, двигающийся по орбите, тоже должен создавать своё небольшое магнитное поле, а атом в целом вести себя как маленький магнетик. Выходит, что если пустить поток атомов через неоднородное поле больших магнитов, то в зависимости от того, как ориентирована орбита каждого атома в пространстве, они разлетятся в разные случайные направления

Вот этот момент в объяснениях про кванты мне непонятен. Если один магнит поднести к другому под углом, его же развернет в соответствии с магнитным полем. Откуда вывод, что они разлетятся в разные стороны? Должно же быть наоборот, независимо от начальной ориентации их развернет по линиям магнитного поля.

 0 Ответить





**Astrei**

26.09.2022 в 15:39



Тут важный момент состоит в том что поле сильно неоднородное. Обратите внимание на форму магнитов в эксперименте. В однородном поле всё будет именно как вы описали. В неоднородном поле частицы будут отклоняться в разных направлениях, в зависимости от изначальной ориентации их магнитного момента в пространстве, т.к. появится дополнительная нескомпенсированная сила, действующая на каждый атом. Конечно эффект влияния поля тоже никто не отменял, но его можно учесть в расчётах, как и скорость атомов.



+1

Ответить



**michael\_v89**

26.09.2022 в 16:26



Не очень понятно назначение пунктирных стрелок, частицы в эксперименте же летят вглубь этой картинке. При входе в магнитное поле частица-магнетик практически мгновенно должна повернуться северным полюсом наверх и дальше уже двигаться независимо от начальной ориентации. Разве нет?



0

Ответить







**Astrei**

26.09.2022 в 18:18



Прошу прощения, я вас ввёл в заблуждение картинкой. На ней предполагается что частицы летят слева-направо. Соответственно пунктир показывает как в зависимости от изначальной ориентации магнитного момента частицы меняют свои траектории во внешнем поле и разлетаются в разные стороны, оседая на фотопластине справа.

Мелкий магнитик не будет поворачиваться мгновенно если внешнее поле не будет слишком большой напряжённости. Если подходить к делу со стороны классического подхода, то атом с электроном на орбите подобен гироскопу, который сопротивляется его отклонению от оси вращения и имеет инертность.

На практике эти классические описания, как в итоге выяснилось, не работают. Количество возможных ориентаций ограничено, а переход между ними совершается скачкообразно при поглощении фиксированного количества энергии.



+1

Ответить



**e-zig**

26.09.2022 в 20:24

Катушка дает дифференциальный сигнал. Можно вместо подключения ее к "земле" подать оба ее вывода на инструментальный усилитель.



+3

Ответить



**UB3DCO**

03.10.2022 в 15:24

А вот мне думается, почему не получилось с диаграммой направленности:

- возможно сам детектор слишком короткий, и линии магнитного поля, которое поляризует протоны, не успевают встать внутри детектора скажем так "в параллельный ряд". При бОльшей длине катушки эта проблема должна исчезнуть. Там на одной из картинок пробирка-"фалькон", может как раз с ней должно лучше получиться.



0

Ответить



**UB3DCO**

03.10.2022 в 15:24

Возможно кто-то уже высказал данное предположение.



0

Ответить



**UB3DCO**

03.10.2022 в 15:31



Очень вдохновляющая статья, тем фактом как запросто можно собрать измерительный прибор, проникающий в свойства микромира.

+1 Ответить




 **chebo**  
04.10.2022 в 10:57

Спасибо! Прочитал с удовольствием. Вопрос - зачем в аппаратах МРТ все эти трески, стуки и завывания выводятся на динамик и долбят тебя пока ты лежишь в этом аппарате? Зачем это нужно кроме как продемонстрировать пациенту, что он не зря отдал кучу бабок за такую крутую процедуру?

0 Ответить



 **Astrei**  
04.10.2022 в 13:20

Звук издаёт не динамик, а градиентные катушки внутри аппарата. Можете подробнее почитать об этом [тут](#).

+2 Ответить




 **chebo**  
04.10.2022 в 14:23

Спасибо, очень интересно. Значит, таки катушки вибрируют. Ну я, на самом-то деле, так и думал ))) . А вот ещё вопрос. Как-то делал МРТ мягких тканей - на стопе надо было нерв посмотреть между пальцами. После того, как просканировали, подходит оператор и говорит - что-то видно не очень, надо с контрастным веществом повторить. Будет стоять ещё столько же. Вкололи что-то в руку (а смотрели стопу, напоминаю) и сразу запустили томограф ещё раз. Вот теперь, говорят, другое дело. Я говорю, подождите, и минуты не прошло после укола - как этот ваш контраст успел добраться до стопы? Эээ, говорят, там это всё так быстро происходит... Развели? Я как-то не очень себе представляю какое такое контрастное вещество может быть при МРТ. Не говоря уже о скорости его попадания из руки в ногу...

0 Ответить



 **Astrei**  
04.10.2022 в 16:01

Я совсем не специалист в клиническом применении, поэтому не буду утверждать ничего на 100%. Вполне возможно что для вашего конкретного случая применение контраста было оправдано. По моему опыту правда, надо подождать какое-то время (хотя бы пару минут) пока вещество распространится с током крови. На практике же пока стол с пациентом доедет до центра аппарата, пока оператор дойдёт до своего рабочего места, пока сделает калибровки и пристрелочный скан, время и проходит.

Контраст не позволит лучше видеть нервы напрямую, но более явно станут видны их повреждения и нарушения оболочек, если они есть. Ведь нервы соседствуют с сосудами в которые контраст и попадает.

+2 Ответить





johnfound  
08.10.2022 в 14:28



Я был однажды в больничке и мне вливали витамины группы В. У этого витамина есть очень специфический вкус/запах, который когда вливают в больших количествах выделяется в легких и чувствуется в выдыхаемом воздухе. И я заметил, что запах начинал чувствовать практически сразу после начала вливания. Примерно через 1..2 секунды. Так что оказывается вещества в крови распространяются неожиданно быстро.



0

Ответить



Только полноправные пользователи могут оставлять комментарии. [Войдите](#), пожалуйста.

## Публикации

ЛУЧШИЕ ЗА СУТКИ

ПОХОЖИЕ



Vostrikova\_av сегодня в 10:01

### Как мы ищем дефекты оборудования ультразвуковыми микрофонами



+50



3.1K



26



29 +29



OlegSivchenko вчера в 23:59

### Они такая мелочь, что их почти что нет. О поисках девятой планеты и чайнике Рассела



+46



4.7K



13



16 +16



ru\_vds сегодня в 12:00

### 7 лет человечности



+31



2.3K



11



1 +1



Kekovsky сегодня в 00:33

### Программирование EEPROM 93C76. Пишем программатор. Часть 1

Из песочницы

+31

3.1K

37

12 +12



Sagidullin вчера в 23:52

**Производство в Китае и европейские литографические установки: как США пытается замедлить выпуск чипов в Поднебесной**

+27

4.1K

16

10 +10

## Хабр



Настройка языка

Техническая поддержка

Полная версия

Вернуться на старую версию

© 2006–2022, Habr