Губернаторова Л.И., Гончаров А.В.

Использование динамического подхода при решении задач по электричеству

Учебно - методическое пособие

Электронное издание на компакт-диске

Губернаторова Л.И., Гончаров А.В.

Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2012. – 1.12 Мб, 1 CD-R.

Губернаторова Л.И. и др. «Использование динамического подхода при решении задач по электричеству». Учебно - методическое пособие. Владим. гос. ун-т. - Электрон, дан. - Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2012. - 1 электрон. опт. диск (CD-R); 12 см. - Системные требования : PC не ниже класса Pentium I; Windows 98/2000/XP; дисковод CD-ROM, мышь; 1.12 Мб. - Загл. с титула экрана.

Рассматриваются общие теоретические основы процесса решения задач и универсальный подход при их решении. Даны теоретические сведения и раскрыто содержание каждого этапа решения задачи.

Пособие адресуется студентам физико-математических факультетов педагогических институтов для становления их профессиональной компетенции, учителям базовых и общеобразовательных школ, аспирантам, преподавателям колледжей, гимназий и других учебных учреждений, а также ученикам общеобразовательных школ при подготовке к сдаче ГИА и ЕГЭ.

Тираж 2 экз.

Изд-во Владим. гос. ун-та

izdat@vlsu.ru

Министерство по образованию и науки
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет им Александра
Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых »

Л.И. ГУБЕРНАТОРОВА
А.В. ГОНЧАРОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Владимир 2012

УДК

ББК

Губернаторова Л.И., Гончаров А.В.

Использование динамического подхода при решении задач по электричеству– Владимир: ВлГУ, 2012. –130 с.

В данном пособии рассматриваются общие теоретические основы процесса решения задач и универсальный подход при их решении. Даны теоретические сведения и раскрыто содержание каждого этапа решения задачи.

В пособии произведен отбор минимума типовых задач по электричеству в рамках общешкольной программы. Показана последовательность процесса решения задач, произведен подробный анализ условий задач и даны подробные математические выкладки процесса решения наиболее типовых задач по электричеству и некоторых задач по магнетизму. Представлено большое количество иллюстраций, позволяющих наглядно представить все главные этапы решения задачи.

Материалы пособия окажут практическую помощь студентам физико-математических факультетов педагогических институтов для становления их профессиональной компетенции, учителям базовых и общеобразовательных школ, аспирантам, преподавателям колледжей, гимназий и других учебных учреждений, а также ученикам общеобразовательных школ при подготовке к сдаче ГИА и ЕГЭ.

Рецензент: профессор Медведев Ю.А., зав. кафедрой информатики Педагогического института ВлГУ.

Глава 1. Учебные физические задачи

Опросы последних лет неизменно свидетельствуют о снижении популярности физики как учебного предмета, отнесение его к самым сложным и неинтересным. Достаточно большое количество школьников склоняются к мнению об изъятии физики из списка обязательных учебных предметов. Однако, как показывают исследования, основная причина данной непопулярности связана не столько с содержанием физики, сколько с необходимостью решения большого количества задач.

Решение физических задач составляет неотъемлемую часть полноценного изучения физики. Их решению отводится значительная часть времени урока физики. Но именно здесь абсолютное большинство школьников испытывают большие трудности. Может быть, имеет смысл изучать физику, не решая задачи? Так уж это невозможно? Тем более что в дореволюционной школе задачи практически не решались, а в настоящее время выбор гуманитарного профиля также свидетельствует о невостребованности данного умения в дальнейшей профессиональной деятельности таких школьником. Так зачем же решать физические задачи?

1.1. *Зачем решать физические задачи?*

Если считать, что задача решается для того, чтобы её решить, то это верно лишь отчасти. Для ученого, инженера, экономиста, перед которыми поставлена конкретная практическая задача, конечно, главным является её решение. Результатом такого решения является создание какой-то ценности: материальной или духовной. Какая же ценность создается школьниками при решении задачи?

Для школьника получение ответа задачи при её решении - не главная цель. Основная цель связана с учебным предназначением задачи. Учебное же предназначение задачи многогранно.

Чтобы выяснить учебную значимость физической задачи, обратим внимание на то, что достаточно многочисленны и распространены такие случаи, когда школьниками задачи решаются, но без понимания смысла и содержания, выражаемое формулой.

Возможность решения задачи путем механического использования физических формул создает убеждение необязательности усвоения скрывающимся за ним физического содержания. Действия с формулами, иногда достаточно успешные, создают иллюзию решения проблем с помощью всесильных формул, ненужности сопоставления используемых математических символов с физическим содержанием, которое скрывается за ними. Примечательно по этому поводу замечание выдающегося физика М.Планка: «Одно действительно понятое учеником математическое предложение имеет большую ценность, чем 10 формул, которые он заучил наизусть и даже знает, как применять, но не понял их действительного смысла». По словам известного физика Р.Фейнмана, «Математики или люди с математическим складом ума при изучении физики теряют физику из виду и впадают в заблуждение. Они говорят: «Физический закон – это уравнение; сами физики признают, что нет ничего, чтобы не содержалось в этом уравнении. Если я разберусь в этом математически, я разберусь в физике» Но ничего из этого не выходит». Аналогична и точка зрения П. Дирака: «Я считаю, что понял смысл уравнения, если в состоянии представить себе общий вид его решения, не решая его непосредственно» Он же продолжает:«… если у нас есть способ узнать, что случится в данных условиях, не решая уравнения непосредственно, мы «понимаем» уравнения в применении к данным условиям». Ещё более четко выражается Э.Ферми: «физическая сущность действительно понимаемого вопроса может быть объяснена без помощи формул».

Таким образом, каждая физическая задача дает повод для серьёзного и глубокого разговора о сути физических явлений и процессов. Осмысление сути – одна из главных учебных целей

Такого мнения придерживаются и педагоги. Непонимание физического смысла приводит к тому, что, по словам А.Пинского, ученик нередко хорошо владеет аппаратом и лихо решает расчетные задачи, но оказывается абсолютно беспомощным при анализе физической сущности явления и при решении качественных задач.

Таким образом, одно из учебных предназначений решения задач - процесс осмысления физического материала. Но зачем тратить столько сил на такой материал, который в дальнейшем не понадобиться? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо выяснить причины возникновения самого приема решения задач.

1.2.*«Задачная школа» - ведущая форма современного образования*

Что же такое физическая задача и каким образом она соотносится с понятием «задача» в общем смысле ?

По сути, каждый вопрос, возникший в связи с изучением учебного материала, предстает в виде познавательной задачи. Учебная деятельность по решению задачи - это одновременно напряженная, эмоциональная деятельность по достижению победы над: а) материалом задачи, б) над самим собой, в) над усвоением практически эффективных и научно обоснованных приемов, средств и самой техники мышления, способов целесообразной интеллектуальной деятельности.

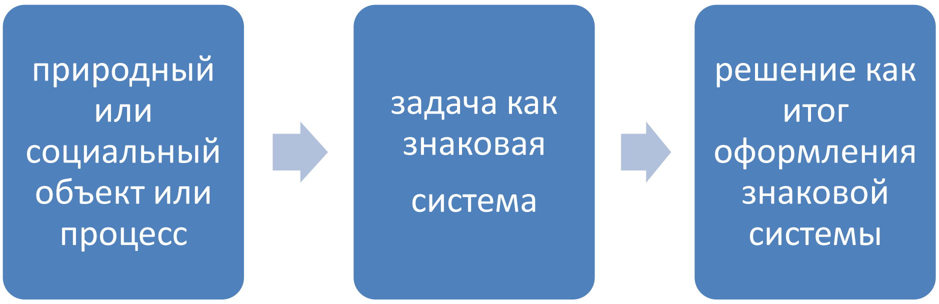
Учебная задача выступает внешним основанием и формой целостной учебной деятельности. Она возникает там, где есть необходимость разбора, анализа и получения ответа на конкретный вопрос или познавательное затруднение. Вхождение в решение, возникшей познавательной ситуации, путем совершения последовательных шагов становится формой превращения наблюдаемой ситуации в задачу. Учебная деятельность, осуществляемая в виде решения познавательных задач, появляется в системе обучения в силу того, что любая школьная познавательная задача - это

- *По содержанию*: форма технологии мышления;
- *По функции*: средство, инструмент воспроизводства и обучение технологии рационального мышления;
- *По учебному предназначению*: объект и предмет изучения и усвоения.

Все перечисленные аспекты фактически представляют собой ***новые социальные функции школьных задач***. Образовательная современная среда претерпела существенные изменения. Социальная функция задач связана с необходимостью формирования умения решать любые познавательные задачи, поскольку познавательные задачи возникают как в ходе реальной жизни, так и в ходе любой производственной и научной человеческой деятельности.

В педагогической практике под задачами *понимается целесообразно подобранные упражнения, выполнение которых становится содержательно организованной деятельностью по овладению технологии современного мышления.* Именно процесс решения познавательного затруднения (задачи) обеспечивает усвоение норм современного мышления. Востребованность умения решать задачи в любой образовательной области, как в узком смысле обучения – для сдачи переходных экзаменов и ЕГЭ, - так и в широком смысле: для реальной жизни, производства, науки становится всё более востребованной и значимой. Новая социальная функция и востребованность навыка решения познавательных задач касается и физических задач.

Физической задачей в учебной практике понимают *небольшое познавательное затруднение, вопрос, проблему, которые в общем случае решаются с помощью логических умозаключений, математических действий и эксперимента на основе законов и методов физики*. При решении познавательного затруднения, возникшего при изучении конкретного объекта или природного явления, первоначально происходит его описание и формулирование задачи, требующей последующего решения:



Главным назначением физических задач является изучение физических явлений и законов, привитие умения применять свои знания на практике. Одновременно задачи выступают и главным средством проверки усвоения содержания изученного материала, то есть средством контроля и учета физических знаний. Именно эта функция и стала в последнее время доминирующей. В то же время на первый план начинает выходить *социальная функция физических задач.*

Социальная функция физических задач требует подробного содержательного анализа причин неумения решать физические задачи. Выяснение этих причин позволит одновременно определить подходы по возрождению познавательного интереса к физике, как учебному предмету.

1.2.1.Причины неумения решать задачи

Печальная действительность такова, что большая часть школьников не умеют решать задачи. При этом существует несколько точек зрения по поводу обучения и формирования умения решать задачи:

- для того чтобы научиться решать задачи, надо их решать. Чем больше, тем лучше. Сформированность умения напрямую зависит от количества решаемых задач;
- если не научился решать задачи в школе, то не научишься решать их никогда;

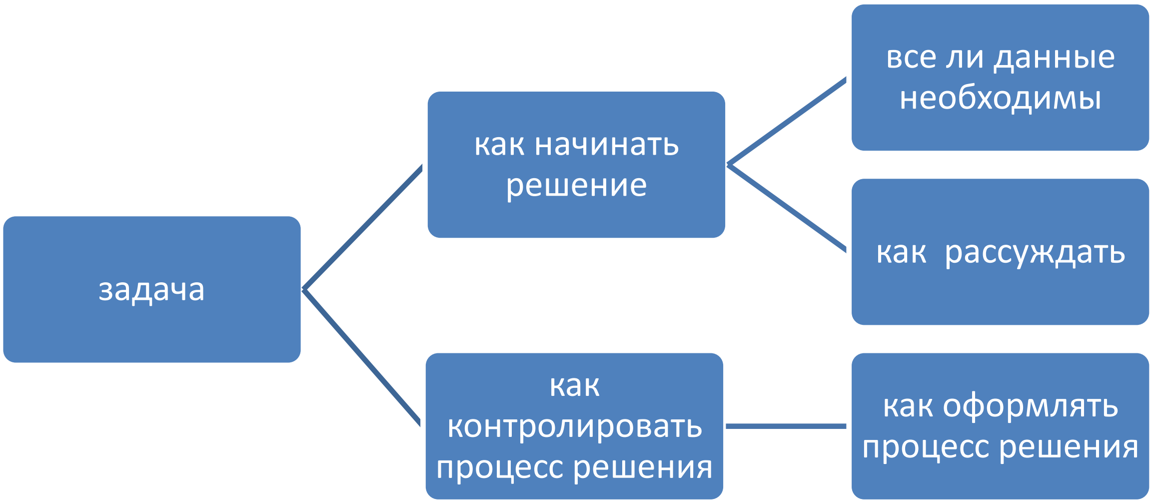
Определенная доля истины в этих точках зрения есть. Однако простые арифметические подсчёты показывают, что на уроках физики и математики, каждый из школьников решает просто огромное количество задач - порядка нескольких тысяч. Но в итоге лишь немногие действительно научаются решать задачи. В чём же причина такого положения?

Одна из причин связана с тем, что большинство не задумывается над самим процессом решения. Их деятельность можно образно назвать «методом тыка»:

дано:	дано:
• не вышло	• не вышло
• не вышло	• не вышло
• не вышло	• не вышло
• не вышло	• не вышло
•	• ....
• не вышло	• вышло, ура
• конец	• конец

Эти процессы стихийные. И никакое дополнительное содержание не даст принципиального эффекта, если не будет изменена сама мыслительная деятельность. Анализ успешного и эффективного решения задач показывает присутствие в этом процессе, как минимум, 2-х видов деятельности: это процесс решения и деятельность по осмыслению самого процесса решения. Успеха добиваются те, кто размышляет над тем, как они учатся, *анализируют, как происходит процесс их мышления* в ходе решения задачи, какие приемы способствуют получению желаемого результата. То есть происходит самообучение процессу собственного мышления и осмысление приемов управления собственной мыслительной деятельностью.

В процессе данной мыслительной деятельности происходит осознание и поиск ответов на ряд принципиально важных моментов.



Учиться *на задаче* **означает овладение самой структурой мыследеятельности** в ходе поиска ответа на возникшую познавательную задачу. Другими словами, происходит устроение собственного ума. По этому поводу примечательно замечание М. Монтеня: « Ум хорошо устроенный лучше, чем ум хорошо наполненный».

В отношении сформированного навыка решения физических задач это касается понимания и осмысления многих компонентов:

- понимания состава и структуры задачи как таковой;
- знания системы действий в процессе решения задачи;
- знания наиболее эффективных подходов и приемов решения;
- владение методами и приемами решения задач определенного класса;
- умения относить задачу к тому или иному классу с соответствующим выбором необходимого подхода;
- знания базовых задач различных типов физических задач и методики их решения

Обратим внимание на то, что все выделенные аспекты самым непосредственным образом касаются понимания причин зарождения задачного метода и особенностей этого метода решения познавательных физических проблем.

1.2.2. Возникновение задачного подхода к описанию окружающей действительности

Наибольшую трудность в процессе решения задачи представляют вопросы: « С чего начать?», « Как рассуждать при решении?» Нередко приходиться сталкиваться с ситуациями, когда учащиеся, неплохо ориентирующиеся в теоретических вопросах школьного курса физики, умеющие записать формулы расчета практически любой физической величины или закона, становятся беспомощными при использовании этих знаний при решении конкретной задачи.

Практика обучения показывает, что знакомство буквально с несколькими строчками приводимых в « решебниках» решений позволяют большинству школьников, решающих задачу, более или менее уверенно довести решение до конца самостоятельно. Но даже после этого многие не могут объяснить, почему, же применение именно этих формул приводит к поставленной цели. Особенно ярко это затруднение проявляется при решении незнакомых задач.

Следовательно, проблематично не само использование физических формул (законов), а именно **выбор**: *какие физические законы и почему надо применять для данной задачной ситуации?* Это умение выбрать как раз и свидетельствует о глубоком и всестороннем понимании физики.

Кажущиеся трудности можно объяснить пестротой, мозаичностью разделов школьного курса физики. На первый взгляд, кажется, что каждый из разделов занят своим собственным кругом вопросов, своим кругом задач. Возникает представление, что они настолько разнообразны, что ничего общего между ними нет, что каждой физической задаче требуется собственный подход и новые идеи.
Тем не менее, несмотря на обоснованность такого взгляда, это огромное количество разнообразных задач можно разделить на несколько типов, в решении которых есть нечто общее, какой-то общий метод или способ.

Метод - *это план решения задач определенного типа*. Каждый метод имеет определенную структуру и состоит из определенных действий или операций, применяемых в определенном логическом порядке. **Овладеть методом можно только путем знания и понимания его структуры, содержания каждого действия и операции.** Многократно применяя их в различных ситуациях, можно постепенно научиться думать так, как думает физик, решая реальные проблемы науки, поскольку сами физические методы и возникли как формы решения исторически ранних научных познавательных вопросов.

Хорошо осознав тот или иной метод или обобщенный подход, можно применять его и при решении задач из других разделов физики. Соответственно, и умение решать задачи будет связано непосредственно с овладением достаточно большого набора различных обобщенных подходов к решению задач определенного круга.

К числу таких обобщенных и фундаментальных подходов относится динамический подход. Именно с ним и связано рождение самого задачного метода и задачного способа познания окружающей действительности. Рождение задачного способа связано с возникновением теоретического метода получения физических знаний, со становлением первой физической теории - классической механикой.

1.2.3.классическая механика - новая форма познания окружающего мира

Классическая механика, как принципиально новый способ познания окружающей действительности, связана с именем величайшего английского физика И. Ньютона. На его надгробии выбита латинская надпись: «Здесь лежит Исаак Ньютон, рыцарь, тот, кто разумом почти божественным, вознеся над собой факел математики, первым доказал движение планет, пути комет и приливы океанов, изведал разницу лучей солнца, рождающуюся отсюда разницу цветов, чего прежде никто не подозревал. … Пусть поздравляют себя смертные, что некогда существовало такое украшение человеческого рода».

Суть своего метода И. Ньютон назвал как «Математические начала натуральной философии». По общему признанию, «В истории естествознания не было события более крупного, чем появление «Начал» И.Ньютона». Причина была в том, что эта книга подводила итоги всему сделанному за предыдущие тысячелетия о простейших формах движения материи. «Сложные перипетии развития механики, физики и астрономии, выраженные в трудах Аристотеля, Птолемея, Кеплера, Галилея, Декарта заменялись гениальной математической строгостью «Начал»». «Начала» давали новую теоретическую схему для решения любых конкретных физических задач, такую же, как и геометрия Евклида.

Долгое время геометрия считалась идеалом науки. Евклид построил геометрию по аксиоматическому методу: из нескольких простых, не требующих доказательств истин, выводились новые теоремы и леммы. Ньютон хотел, чтобы так же была построена и физика. Чтобы из немногих фундаментальных физических аксиом выводились остальные, чтобы новое физическое знание получалось не только из эксперимента, но выводилось и предсказывалось математически.

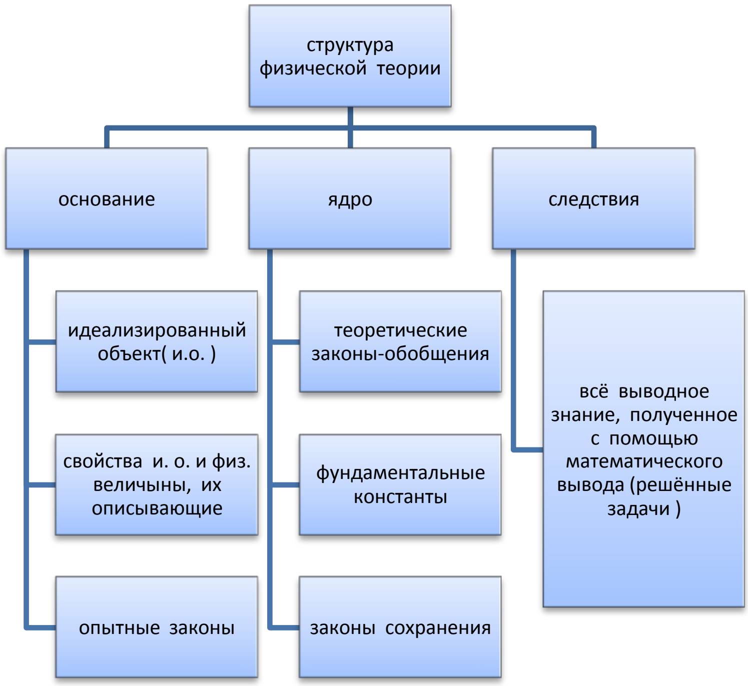
По мнению И. Ньютона, исследователь природы (физик) должен поступать как математик: искать самое простое и экономное решение - физику природы познавать математически. «Вывести из явлений два или три общих принципа движения и затем изложить, как из этих ясных принципов вытекают свойства и действия вещественных предметов».

Именно это и удалось сделать И.Ньютону. В «Началах» всё изложение ведется примерно так, как построен учебник геометрии: определения, задачи, теоремы, следствия, примечания, выводы. Фактически им были представлены математические основания физики, приобретшие форму физической теории. Новый (теоретический) метод физического познания (физическая теория), в отличие от экспериментального, должен был одновременно выполнять несколько научных функций. Прежде всего, с помощью этого метода должны быть математически описаны все физические свойства изучаемого природного объекта. Для описания изучаемой области физических явлений производится моделирование. Все объекты исследования заменяются идеализированными объектами. Для математизации описания вводятся физические величины.

Более глубокое описание производится путем выяснения закономерных связей между физическими свойствами и описывающими их величинами. Выявление этих связей осуществляется на эксперименте. Таким образом, устанавливаются экспериментальные законы. Экспериментальные законы - это простейшие законы. Они лишь фиксируют связи между свойствами физического объекта. Однако требуется объяснить наблюдаемое поведение природного объекта. Именно для этого и потребовались законы- аксиомы. Это законы-принципы, входящие в ядро физической теории. Опытной базой этих теоретических законов является человеческая практика во всей своей совокупности и целостности. Это те законы-обобщения, из которых, как из аксиом геометрии, и должно получаться новое выводное знание. Физическая теория создавалась именно с целью прогнозирования, математической выводимости нового физического знания. Все выводное знание представляет следствия теории. Таким образом, И.Ньютон впервые сформулировал и провозгласил естественнонаучный **манифест, идеал и предназначение науки**: *прогнозировать научное знание, выводить его математически из фундаментальных физических законов-аксиом.* Соответственно, физическая теория выполняет функции:

- описательную (как происходит);
- объяснительную (почему именно так);
- прогностическую (получает новое знание).

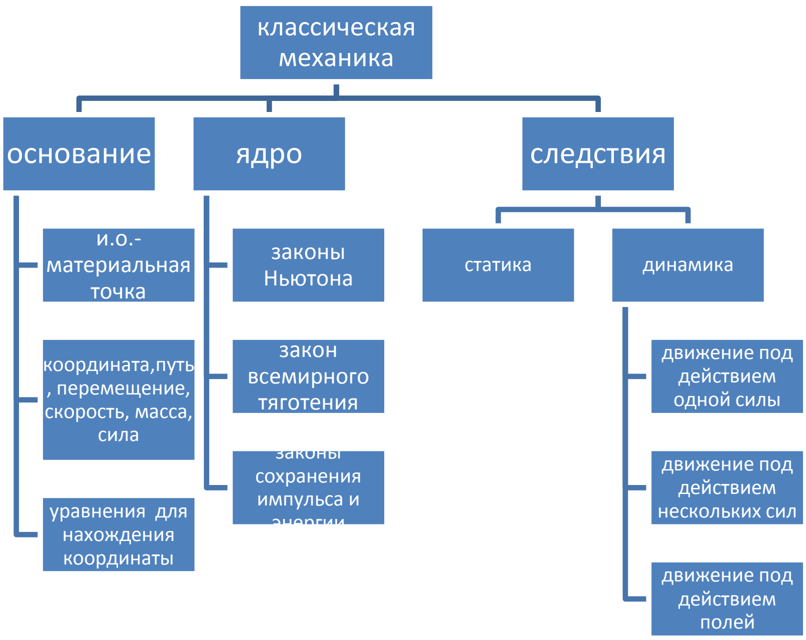
Данные функции осуществляются различными компонентами теории, которые в свою очередь состоят из подкомпонентов :



Определить, какие законы можно считать законами-принципами, мог только незаурядный ум. Тем не менее, И.Ньютону удалось выполнить эту поистине грандиозную научную задачу. В число фундаментальных физических законов входит закон инерции, открытый Г.Галилеем, и два закона, сформулированные самим И.Ньютоном. В результате первая физическая теория – классическая механика – стала новым математическим методом решения главной задачи механики:

нахождения координаты материальной точки в самых различных конкретных условиях.

В настоящее время с помощью данного метода определяется положение природного объекта, который может быть заменен моделью материальной точки, под действием не только других вещественных объектов, но и различных физических полей. При этом новый задачный метод обладает и целым рядом уникальных преимуществ. С его помощью, возможно, находить не только координату, но и любую физическую величину, входящую в опытные и теоретические законы, касающихся поведения исследуемого объекта. Соответственно, вся разрозненная и обширная физическая информация приобретает логически структурированный вид физической теории, с выделением путеводной нити решения познавательной задачи – теоретических законов, входящих в ядро теории. Именно они становятся формой математического выражения причинно-следственных связей, с помощью которых и решаются возникшие познавательные затруднения (задачи). С учетом дальнейшего развития физики сфера применения динамического (механического) подхода значительно расширилась. С его помощью выясняются и механические характеристики электрически заряженных частиц и токов, движущихся в электрических или магнитных полях. В схематизированном виде структура классической механики, с учетом расширенной сферы её применения в новых, современных областях физики, приобретает следующий вид:



Свойства и физические характеристики материальной точки

Одна из первых проблем, ставшая перед человечеством, состояла в том, чтобы научиться ориентироваться на местности: определять свое положение относительно других объектов и уметь находить дорогу, как на земной поверхности, так и на безбрежных просторах морей, океанов, тайги, лесов и пустынь. Аналогичная задача стояла и при описании движения космических объектов (планет, звезд, галактик, звездных скоплений), а впоследствии, и при развитии баллистики и космонавтики.

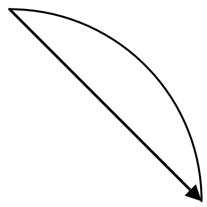
Способность тел иметь определенное положение выделена человеком в качестве первого универсального свойства всех природных объектов.

Координата

Задача заключается в том, чтобы придать «математические адреса» всем материальным точкам (телам и предметам). В связи с этим возникла проблема соглашения о способах приписывания «адресов». В физике и математике данный прием свелся к введению системы отсчета.

*Система отсчета в*ключает в себя тело отсчета, систему координат и часы. *Тело отсчета* – это тело, по отношению к которому определяется положение интересующего объекта. *Координата* – физическая величина, количественно (численно) оценивающая положение материальной точки. При движении в пространстве тело обладает тремя координатами (x,y,z); при движении на плоскости – двумя координатами (x,y); при движении вдоль прямой – одной координатой (x). Материальная точка обладает дополнительно целым набором физических свойств и соответствующим им физических величин.

НАЗВАНИЕ	ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ПУТЬ	Физическая величина, численно оценивающая длину описанной траектории. Величина скалярная, имеет только численное значение. S 

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ	Физическая величина, численно оценивающая смещение тела вдоль прямой, соединяющей первоначальное и конечное положение тела. Величина векторная, имеет направление. $\vec{S}$ 
СКОРОСТЬ	Физическая величина, численно оценивающая быстроту смещения тела и равная отношению перемещения к промежутку времени, за которое оно пройдено $\vec{v} = \frac{\vec{v}}{t}$
УСКОРЕНИЕ	Физическая величина, численно оценивающая быстроту изменения первоначальной скорости и равная отношению изменения скорости к величине промежутка времени, за которое оно произведено $\vec{a} = \frac{\overrightarrow{\Delta v}}{t}$
МАССА	Физическая величина, численно оценивающая инертность тела. Величина скалярная. Определительной формулы не имеет.
СИЛА	Физическая величина, численно оценивающая действие одного тела на другое, результатом которого является изменение скорости тела или его деформация и равная произведению массы на ускорение. $\vec{F} = m\vec{a}$

Все физические свойства и характеризующие их физические величины материальной точки связаны уравнениями движения:

- для равномерного движения (РПД)

$$x = \pm x_0 \pm vt$$

- для равнопеременного движения (РУД и РЗД)

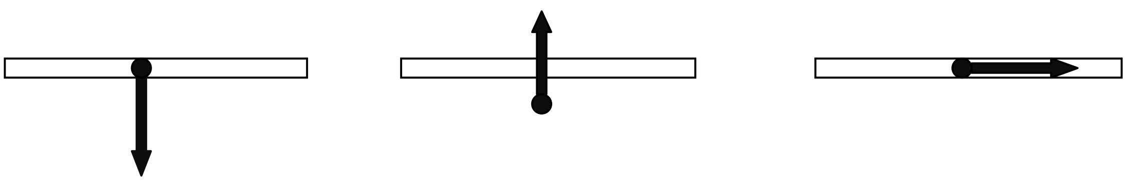
$$x = \pm x_0 \pm v_0 t \pm \frac{at^2}{2}$$

Для решения главной задачи механики, определения координаты исследуемого объекта, в число которых входят и заряженные тела, как это следует из уравнения, необходимо знание ускорения. Вычисление ускорения, в свою очередь, требует знание силы. И здесь следует констатировать, что многочисленные ошибки при решении физических задач связаны с неосмысленностью полного содержания этого понятия.

При использовании понятия силы необходимо иметь в виду, что сила характеризуется тремя признаками: а) **точкой приложения**, б) **направлением и в) численным значением**. *Точка приложения силы* всегда находится *на том теле, на которое оказывается воздействие*. Поэтому *при подписи силы* на первом месте указывается воздействующее тело, а на втором – тело, на которое оказывается действие.

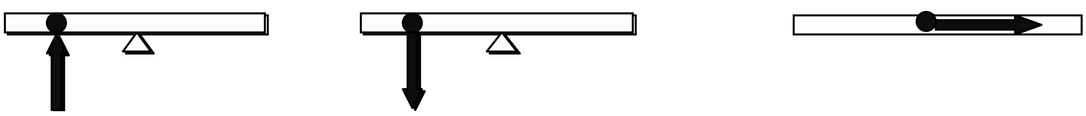
Например, запись $F_{зс}$ означает, что сила действует со стороны Земли на Солнце. Надпись $F_{сз}$ означает, что рассматривается действие со стороны Солнца на Землю. Точка приложения имеет принципиально важное значение, поскольку при действии одинаковых сил, приложенных в различных точках, результат действия будет совершенно различным. Действуя с некоторой силой у петель двери, её очень сложно открыть. По этой причине дверные ручки делают максимально удаленными от петель, у противоположной стороны двери.

Так же значимо и *направление действия силы*. Действуя одинаковыми силами, но различно направленными, в различных случаях получают различные результаты:



движение вниз　　　движение вверх　　　движение вправо

Соответственно, совершенно различными будут результаты действия сил, имеющих разные точки приложения этих сил и разные направления.



Вращение по часовой стрелки　　　Вращение против часовой стрелки　　　Поступательное движение

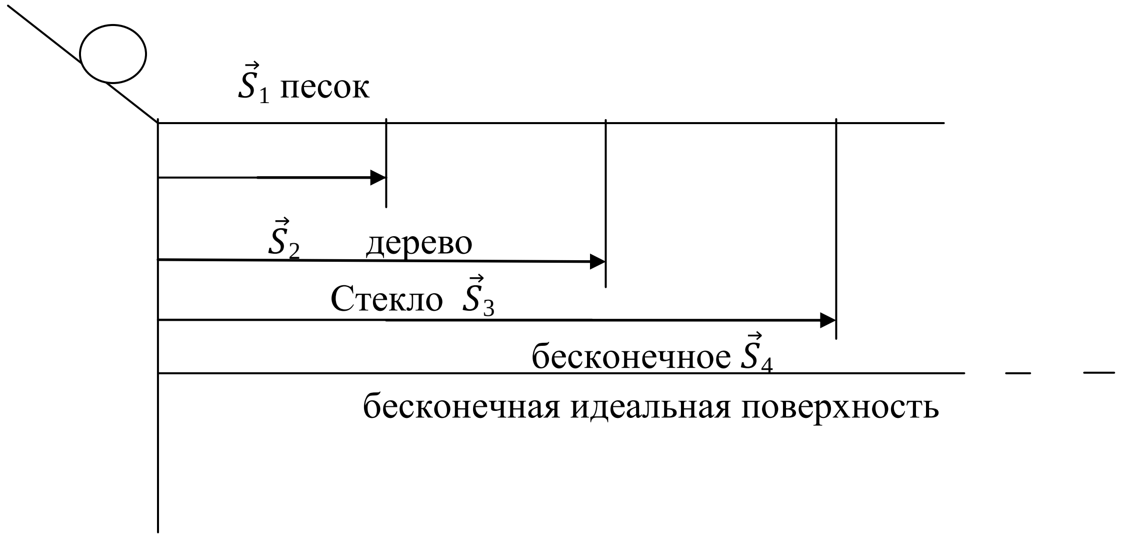
Однако, главное условие успешности использования динамического подхода не только в механике, но и в электричестве и магнетизме, напрямую зависит от осмысленности содержания фундаментальных механических законов, лежащих в ядре классической механики: первого, второго и третьего законов Ньютона.

Первый закон ньютон (*Закон инерции*)

Движение является одним из наиболее очевидных свойств материальных объектов. Но необходима ли причина, чтобы тело начало двигаться? Ответить на этот вопрос пытались с самого зарождения науки. Более того, именно данный ответ положен в качестве краеугольного камня всей классической физики. Известен он как принцип относительности Г. Галилея. Правильный ответ был получен приблизительно за сто лет до работ Ньютона, но отвергался. Не случайно физики XX столетия называют его самым «безумным» физическим законом.

«Безумие» этого закона заключается в том, что он противоречит обыденному опыту. Окружающая действительность неизменно приводит нас к кажущемуся выводу, который был сделан ещё в IV веке до нашей эры Аристотелем. Для движения обязательно необходимо некоторое усилие, то есть для движения необходимо действие. Данное представление господствовало вплоть до Г.Галилея(XVI в).

Для правильного решения проблемы следовало, прежде всего, отвлечься от всяких внешних воздействий. Что произойдет с телом, если оно перестанет взаимодействовать с телами? В реальном эксперименте осуществить данное условие практически невозможно, но влияние тел можно значительно уменьшить. Рассмотрим следующий эксперимент:



Если шарик двигается по песку, то он быстро останавливается; на деревянной поверхности он будет двигаться дольше; на стеклянной поверхности перемещение продолжает увеличиваться. А если поверхность будет идеально гладкой? Здесь на помощь может прийти только мысленный эксперимент, идея которого впервые была предложена Г.Галилеем. Если поверхность будет не только идеально гладкой, но и бесконечной, очевидно, шарик будет двигаться неограниченно долго. Подобный мысленный эксперимент и позволил Г.Галилею прийти к идее инерциального движения; движения, происходящего без тянущего или толкающего тела. Однако, лишь спустя столетие была признана фундаментальность этого закона, когда И. Ньютоном было объяснено расхождение вывода Г.Галилея с повседневной практикой. И. Ньютон стал впервые говорить и исследовать трение со стороны поверхностей, на которых находятся тела. Усилие и внешнее воздействие необходимо лишь для компенсации трения, действующего на тело со стороны поверхности. Если внешнее воздействие станет таким же, как и трение, то тело перейдет в свое естественное состояние, состояние движения.

Мысленный эксперимент Г.Галилея и обнаружение сил трения позволили И. Ньютону сформулировать первый фундаментальный физический закон, помещенный им в ядро классической механики:

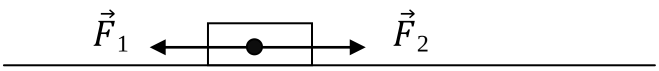
Тело сохраняет свое состояние покоя или движется прямолинейно и равномерно, если на него не действуют другие тела, или действие этих тел скомпенсировано.

В настоящее время были обнаружены системы, в которых первый закон Ньютона не выполняется, поэтому формулировка уточнена:

Существуют такие системы отсчета, относительно которых тело сохраняет свое состояние покоя или движется прямолинейно и равномерно, если на него не действуют другие тела, или действие этих тел скомпенсировано.

Подобные системы получили название инерциальных, а движение тела – движением по инерции. Практика показала, что системы отсчета, связанные с Землей можно считать инерциальными. Любая система отчета, движущаяся равномерно и прямолинейно относительно некоторой инерциальной системы отсчета, также является инерциальной. Во всех инерциальных системах отсчета законы механики выполняются одинаково; или все инерциальные системы отсчета равноправны.

При решении задач первый закон Ньютона используется уже при построении чертежа. В первую очередь это касается модулей действующих на тело сил. Если тело по условию задачи движется равномерно и прямолинейно, то силы, действующие по одной прямой, но в противоположные стороны, компенсируют друг друга. Длины векторов этих сил одинаковы.



Второй закон ньютона

Логически второй закон Ньютона углубляет первый закон динамики. Первый закон позволяет определить характер движения тела при компенсации внешних воздействий - РПД. Второй закон постулирует: сила является причиной возникновения ускорения.

Причина ⟶ действующая на тело сила.

Следствие ⟶ возникновение деформации или ускорения.

Примеры проявления этого закона встречаются буквально на каждом шагу. Движущиеся по земной поверхности тела тормозят под действием силы трения, падение парашютиста замедляется силой сопротивления воздуха, сила упругости батута ускоренно подбрасывает спортсмена вверх, а сила тяготения замедляет это движение и так далее. В разделах по электромагнетизму – это действие соответствующих полей на заряженные тела или проводники с токами (действие силы Ампера и Лоренца).

Впоследствии второй закон И. Ньютона позволил сформулировать обобщенное определение силы:

Сила – физическая величина, количественно оценивающая действие одного тела на другое в результате, которого тело деформируется или приобретает ускорение и равная произведению массы тела на приобретенное телом ускорение.

$$\boldsymbol{\vec{F} = m\vec{a}}$$

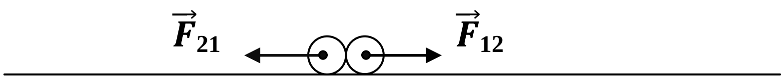
При условии действия нескольких сил во второй закон записывается результирующая сила, равная геометрической сумме всех действующих на тело сил $\vec{F}_{рез} = \boldsymbol{m\vec{a}}$

Второй закон Ньютона называют основным законом динамики, поскольку этот закон *является формой выражения механической причинно-следственной связи*. Многие задачи астрономии, космонавтики, транспорта, поведения заряженных частиц в электрических цепях, кинескопах телевизора и ряда других областей науки и техники сводятся к отысканию закона движения материальной точки. Требуется выразить её координату в виде определенной функции времени. Это и есть основная задача механики. Для её решения с помощью второго закона Ньютона определяется ускорение, подставляемое в формулу координаты конкретного вида движения. Математическая запись этого закона является первым исходным действием при решении задач с использованием динамического подхода.

Третий закон ньютона

Содержание третьего закона Ньютона постулирует наличие взаимосвязи явлений природы. В природе не существует одностороннего действия. Фундаментальным и всеобщим свойством всех природных объектов является их ответное действие при наличии исходного воздействия. Всегда существует «реакция», отклик на первичное действие. Характер и интенсивность ответного действия и составляет содержание третьего закона Ньютона.

Силы, с которыми тела действуют друг на друга, равны по модулю и направлены в противоположные стороны вдоль прямой, соединяющие эти тела



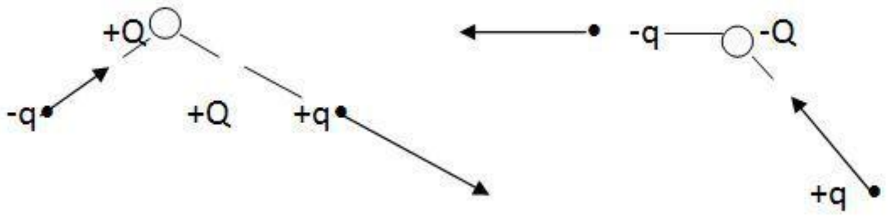
При решении задач необходимо учитывать следующие особенности механических сил:

- силы центральные (направлены вдоль прямой, соединяющей центры масс тел);
- имеют одну и ту же природу;
- не компенсируют друг друга, поскольку приложены к центрам масс различных тел (к различным материальным точкам).

При этом следует помнить, что вся совокупность знаний об особенностях силовых взаимодействий, знание физического смысла содержания всех законов Ньютона требуется не только при математическом оформлении решения задачи, но уже при первоначальном анализе условия и изображении рисунка, что осознается далеко не всеми школьниками. Именно здесь - начало осмысления познавательной ситуации и модели задачи.

Наиболее существенные моменты силового воздействия электрических и магнитных полей, определяющих то или иное поведение заряженных частиц или токов, представлены ниже.

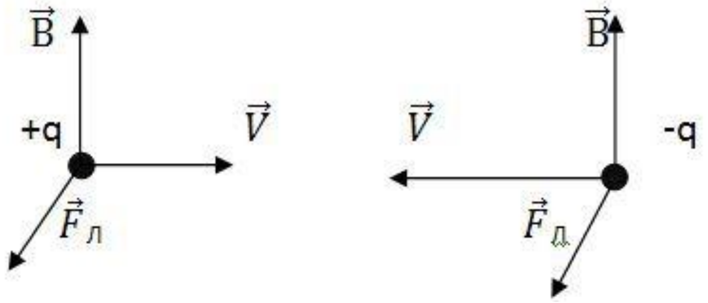
Сила действия электрического поля – это сила, с которой электрическое поле действует на помещенные в него заряды. Точка приложения данной силы находится на заряде. Направление действующей силы зависит от знака заряда. Сила направлена вдоль прямой, соединяющей помещенный в поле заряд q с зарядом, «создающим» поле - Q.



Модуль силы рассчитывается по формуле $F = |q|E$, где q - численное значение заряда, E - численное значение напряженности электрического поля

Сила Лоренца – это сила, с которой магнитное поле действует на движущийся электрический заряд.

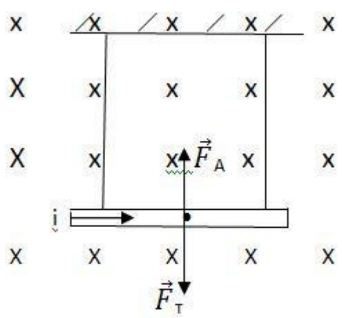
Точка приложения силы находится на заряде. Направление силы Лоренца определяется по правилу левой руки. Знак заряда при этом положителен, в случае отрицательного заряда пальцы левой руки располагаются в противоположном направлении. При этом важно помнить, что сила Лоренца перпендикулярна как направлению движения тока, так и направлению вектора магнитной индукции.

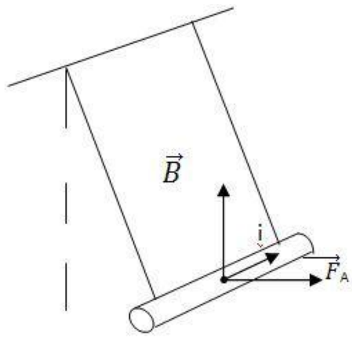


Численное значение силы находится по формуле: $F_Л = q\, v\, B \sin\alpha$, где B-
-модуль магнитной индукции, α - угол между вектором магнитной индукции и скоростью частицы.

Сила Ампера – это сила, с которой магнитное поле действует на совокупность движущихся зарядов (электрический ток). Точка приложения силы Ампера находится на проводнике с током. Направление действия силы определяется по правилу левой руки.

Численное значение силы Ампера находится по формуле: $F_A = BIL\sin\alpha$, где





I – сила тока, *L* - длина проводника.

Резюмируя, ещё раз подчеркнем, что уже при анализе физической картины задачи, при графическом изображении задачной ситуации с помощью рисунка, требуется знание всех фундаментальных механических законов, представляющих собой ядро классической механики, ядро теоретического метода решения возникающих познавательных физических научных задач.

Введение Ньютоном системы фундаментальных физических законов (вместе с законом всемирного тяготения) фактически представлял собой революцию в физике, поскольку теперь появилась новая математическая возможность решения любых механических задач – сам задачный подход. Успех предложенного Ньютоном задачного метода стал причиной того, что механизм получения знаний в процессе решения задач стал «сквозным», пронизывающим абсолютно все разделы физики. Новая методология получения физического знания получила название теоретического метода.

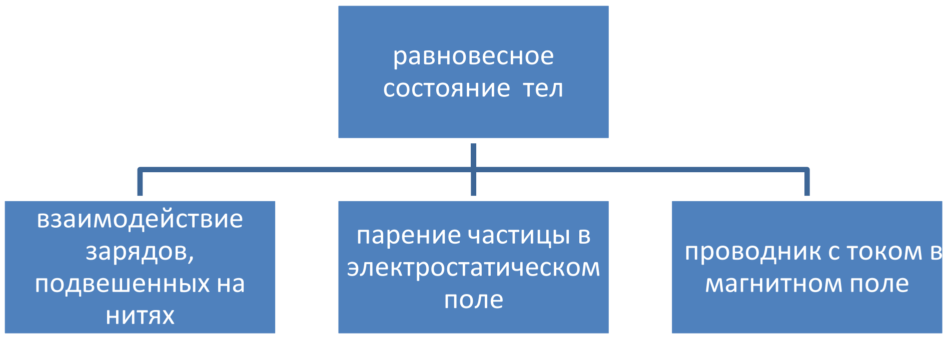
Динамический подход имеет более узкую сферу применения. Он применяется там, где рассматривается поведение точечных физических объектов. Природа сил при этом принципиального значения не имеет. Не играет роли и то, со стороны какого объекта осуществляется силовое воздействие: со стороны вещественного тела или физического поля. Одинаковы и кинематические закономерности при движении объекта в любом однородном поле - поле тяготения Земли, гравитационном поле планеты, электрическом, магнитном или ядерном.

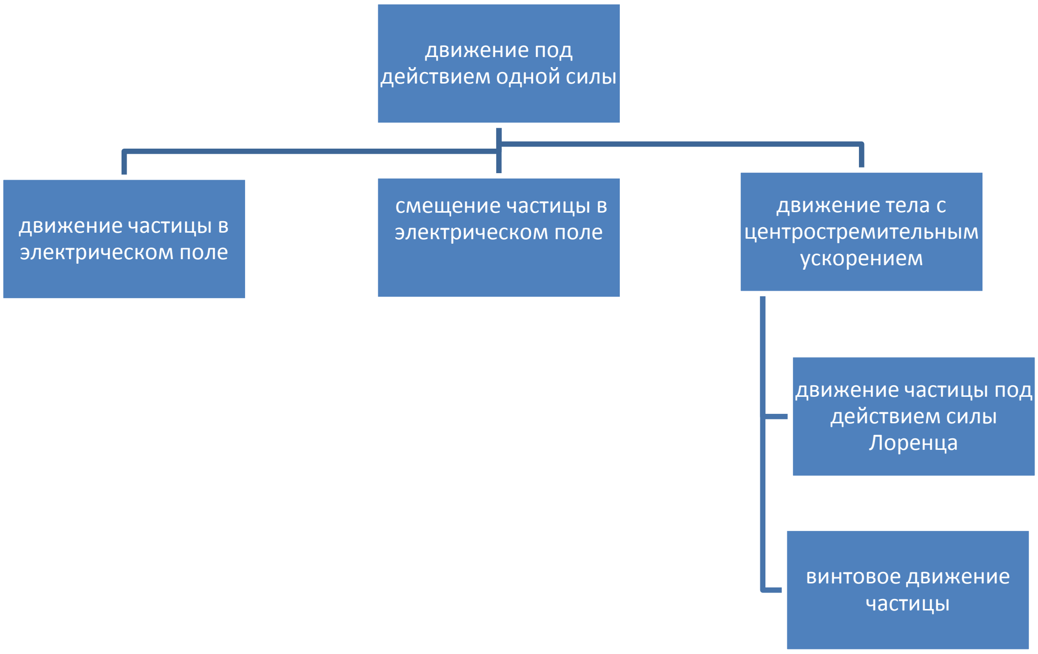
Во всех ситуациях силового воздействия (независимо от природы сил и воздействующих объектов) задача сводится к определению ускорения, исходя из знаний действующих сил, либо, наоборот, к определению сил по заданным характеристикам движения. Решение задач во всех случаях связано с решением 2-го закона Ньютона, учитывающего тот или иной характер движения тела.

Несмотря на обилие ситуаций, при которых используется динамический подход, весь массив решаемых задач можно расклассифицировать в зависимости от объединяющих их моментов и особенностей решения, так называемых «изюминок» задач. Классифицировать задачи можно по – разному. В следующем параграфе представлен один из возможных вариантов подобной классификации. В процессе собственного решения вы можете провести и другую систематизацию.

Классификация физических задач

Задачи по физике классифицируют по многим признакам: по содержанию, целевому назначению, способам задания условий, степени сложности и трудности, разделам физики и т.п. В нашем случае разбиение задач по типам необходимо произвести по использованию динамического подхода из самых различных разделов физики:





Хотя представленная классификация является одной из возможных, тем не менее, она позволяет решать задачи не в виде несистематизированной и разобщенной россыпи задач, а в виде задач-комплексов. Это целые кластеры задач, объединенные не только динамическим подходом, но и общей содержательной фабулой, общей специфической особенностью. Логика размещения задач исходит из наличия задач-ядер, вокруг которых и формируется подборка задач аналогичных, обратных и дополнительных базовой задаче.

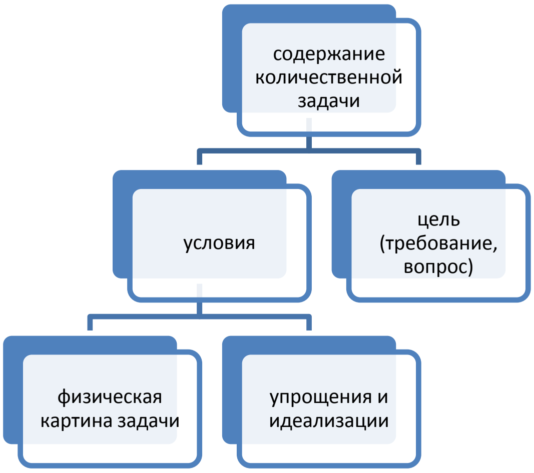
Однако, как уже указывалось, необходимо научиться на выделенной базовой задаче для того, чтобы в дальнейшем она стала инструментом анализа и успешной деятельности при решении задач родственного типа. Для этого необходимо разобраться, что представляет собой задача как таковая, каковы компоненты любой задачи, каков механизм анализа условий и требований задачи и обобщенная стратегия построения пути решения задачи.

Глава 2. Структура познавательной деятельности при решении физических задач

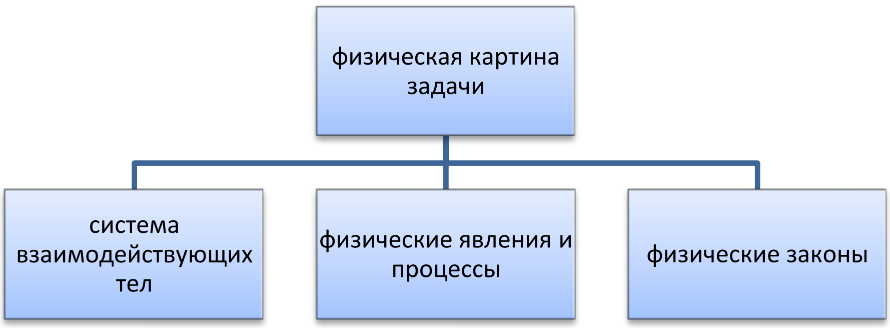
2.1. Состав задачи. Общий порядок действий при решении физических задач

Как уже указывалось, задача – это небольшая проблема, познавательное затруднение, которое в общем случае решается с помощью логических умозаключений, математических действий и эксперимента на основе знаний законов физики. Процесс активного целенаправленного мышления представляет собой решение задачи.

Любая физическая задача имеет определенное содержание, включающее в себя ряд компонентов.



В свою очередь, физическая картина задачи состоит из ряда подкомпонентов:



Многие неудачи в процессе решения задач объясняются тем, что оно начинается вслепую, наугад. С чего же необходимо начинать решение задачи?

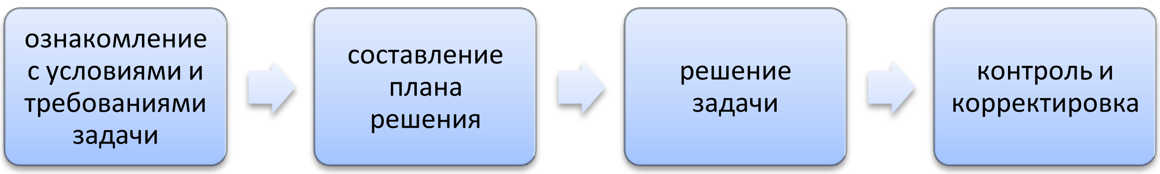
Интеллектуальная деятельность при решении задачи предполагает анализ задачной ситуации и выявление всех представленных компонентов на том или ином этапе задачи. Если данные компоненты не выделяются и не осознаются в явном виде, то решение идет стихийно и неэффективно. Научно обоснованный процесс решения задачи представляет собой весьма сложную интеллектуальную деятельность. В общем случае решение каждой задачи можно условно разделить на несколько этапов:

- 1-ый этап-изучение условий и цели задачи
- 2-й этап-поиск плана решения задачи
- 3-й этап-оформление найденного решения
- 4-й этап -критический анализ результата решения и отбор полезной информации

Данные этапы соответствуют теоретическим основам любой человеческой деятельности, включающей в себя следующие действия:

- ориентировка,
- планирование,
- исполнение,
- контроль.

Схематически общую систему действий можно представить следующим образом:



Содержание каждого этапа включает в себя ряд отдельных операций, выполнение которых обеспечивает успешность процесса решения задачи.

2.2. Изучение условий и цели задачи

Изучение условий и цели, требований задачи – чрезвычайно важный элемент процесса решения задачи. При обдумывании условий, прежде всего, необходимо выяснить о каких физических процессах идет речь в рассматриваемой задаче, поэтому необходимо:

- осмыслить вопрос задачи (хорошо понять вопрос – значит наполовину ответить на него),
- записать все данные и искомые величины (Искомые величины – маяки, к которым ведут заданные и табличные величины.)

При этом необходимо записывать и те величины, которые явно не задаются, но о них можно судить по условию задачи. Например, если в задаче говорится о торможении, то следует записать $V_к$=0; если тело трогается с места, то V_0=0 и т.п.

- Тщательно выполнить рисунок, чертеж или схему, помогающие осмыслить задачу.

Правильное графическое представление задачи означает четкое, ясное и конкретное понимание всей задачной ситуации в целом. Ошибка в построении неизбежно приводит к ошибке в решении.

- Продумайте, какие теоретические положения связаны с данной задачей в целом и с некоторыми их элементами.

Установите, какие физические законы отвечают содержанию данной задачи. Вспомните, какими математическими формулами записываются эти законы.

- Отметьте особенности условий протекания физических процессов и вспомните, не встречались ли вы с задачами, аналогичным данной.
- Вспомните, имеется ли общепринятый метод решения задачи с выявленными особенностями

2.3. Составление плана решения

Эффективность разработки плана решения зависит от качества 1-го этапа, от правильности определения направления поиска. Выбор направления поиска зависит от процедуры классификации, от того, насколько правильно отнесена решаемая задача к какому – либо типу, для которого существует тот или иной алгоритмический подход.

В общем случае для составления плана решения необходимо выполнить следующую систему действий:

- Определите, к какому типу задач относится решаемая задача, метод, решения которого вам известен.
- Если задача комбинированная и содержит в себе ситуацию, относящуюся к различным разделам физики, то разбейте её на серию отдельных, вспомогательных, для решения которых существует тот или иной обобщенный подход.
- Определив тип задачи, примените алгоритм или обобщенные рекомендации для решения задач данного типа.
- Если задача с «ходу» не решается, попытайтесь видоизменить её, переформулировать условия и предельно упростить. Попытайтесь решить аналогичную, но более простую.
- Если все же решить задачу не удается, отыщите в учебной литературе похожую. Изучите внимательно готовое решение и постарайтесь извлечь из него пользу для решаемой задачи.

Последние два действия выполняются в случаях возникших сложностей и недостаточности опыта решения задач.

2.4. Оформление решения задачи

Оформление решения задачи заключается в письменной записи всех ранее произведенных действий, в математическом оформлении мыленных и интеллектуальных действий предыдущего этапа. Здесь также необходима вполне определенная система действий:

- Используя математическую запись физических законов, отвечающих задачной ситуации, запишите уравнение или систему уравнений, содержащих искомую величину.
- Решите задачу в общем виде, то есть получите математическое выражение (рабочую формулу), в левой части которого находится искомая величина, а в правой - заданные в условии задачи или табличные величины.
- Используя дополнительные закономерности, в которые входят искомая и заданные величины, решите полученную систему уравнений любым удобным для вас способом.

- В выведенную рабочую формулу подставьте численные значения входящих в неё величин и найдите числовое значение искомой величины, пользуясь правилами приближенных вычислений.

При таком способе решения задачи не происходит накопление погрешностей, что часто возникает, если вычислять промежуточные величины. Кроме того, не заданные в условии задачи промежуточные величины становятся излишними и уходят, становятся ненужными при решении задач в общем виде. Исключения из этого правила очень редки и включают случаи а) если формула промежуточной величины настолько громоздка, что её вычисление упрощает дальнейшую запись решения, б) если решение задачи в цифрах значительно проще, нежели вывод «рабочей» формулы. Последним этапом решения задачи является анализ полученного решения и его корректировка в случае обнаружения несовпадения полученного численного значения величины с правильным ответом.

2.5. Анализ результата решения

Проверка правильности процесса решения задачи осуществляется путем проверки правильности выведенной рабочей формулы. Для этого необходимо в левую и правую части рабочей формулы подставить единицы измерения стоящих там величин и произвести необходимые математические действия. Все математические действия были произведены правильно, если в правой части также получается единица искомой величины.

Данное действие более целесообразно производить до подстановки численных значений величин, входящих в рабочую формулу, поскольку это значительно сэкономит время, позволяя сразу же обнаруживать принципиальные, нечисловые ошибки решения. Дополнительный прием проверки включает в себя изучение полученного численного значения. Сделайте грубую прикидку полученного численного значения: допустимо ли оно с точки зрения реальности данного процесса. Например, КПД любого механизма не может быть больше 100%, а вода не может быть нагрета более, чем на 100^0С; скорость движения тела не может быть более скорости света в вакууме и т.п. Правдоподобность полученного численного значения в ряде случаев поможет обнаружить ошибочность полученного результата.

Только теперь имеет смысл сверки полученного численного значения с ответом задачника. Однако процесс работы над решением задачи не закончен, даже если получен правильный ответ. Именно сейчас наступает наиболее важный момент для формирования умения решать задачи. Теперь необходимо обобщить результаты решения, подумав, при решении каких других задач пригодятся результаты ваших размышлений, какие находки смогут пригодиться. Обратите внимание на те теоретические положения, которые явились ключевыми для отыскания решения.

Имеет смысл отыскать и более экономичное решение, более общий или изящный способ рассуждений. Новый способ решения часто открывает более экономичные подходы при решении аналогичных задач и обогащает набор оптимальных методов и способов решения.

Данное описание процесса решения задачи относится к задачам из любого раздела физики, то есть является обобщенным и предполагающим некоторый опыт решения физических задач достаточно обширного класса и типов. Описать особенности решения задач большого спектра в одном пособии достаточно затруднительно и цель данного пособия гораздо уже: сформировать навык классификации задач и отнесении её к кругу тех, которые наиболее эффективно решаются с помощью динамического подхода. При использовании динамического подхода каждый обобщенный этап детализируется и конкретизируется, выстраиваясь в конкретный алгоритм решения всех задач подобного типа.

Глава 3. Динамический подход как метод решения физических задач

Любая реальная природная или жизненная ситуация может поставить перед познающим её человеком вопрос, познавательное затруднение и быть описанной на языке поэта, художника, экономиста, биолога и т.п. С точки зрения физического описания она предстает как физическая задача. Соответственно необходимо уточнить особенности физического описания рассматриваемой ситуации и определить, при каких условиях наиболее правомерно применение динамического подхода и алгоритма.

Как уже было выяснено, процесс решения начинается с анализа условий задачи. Главным при этом является осознание упрощений и идеализаций, с помощью которых описывается задачная ситуация, выделение и определение того, какая модель реального физического объекта здесь используется.

Динамический подход, как метод решения, используется при изучении и описании движения и покоя тел в целом, в тех ситуациях, при которых внутреннее строение тел несущественно, в тех случаях, когда возможна замена объекта моделью материальной точки. Это могут быть как незаряженные тела в задачах по механике, так и заряженные тела, взаимодействующие посредством кулоновских сил, или заряды, движущиеся или покоящиеся в стационарных магнитных или электрических полях, Это могут быть и небольшие участки проводников с электрическим током в магнитных полях (смотри классификацию задач).

3.1.Алгоритм решения задач

Если анализ задачной ситуации показывает, что изучаемый объект, возможно, заменить моделью материальной точки, то далее необходимо использовать алгоритмическое предписание, соответствующее обобщенным этапам решения задачи, но гораздо более конкретизированное и детализированное:

1. Запишите условие задачи, сделав при необходимости перевод заданных величин в СИ.
2. Сделайте чертеж:

   а) изобразите систему координат, соответствующую задачной ситуации;
   б) изобразите тело и покажите направление кинематических величин (скорости и ускорения);
   в) изобразите действующие на тело силы.

3. Запишите 2-й закон Ньютона в векторном виде: $\vec{F}рез = m\vec{a}$.
4. Распишите $\vec{F}рез$ как геометрическую сумму всех сил, действующих на тело: $\vec{F}рез = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots$
5. Запишите 2-й закон Ньютона в полном виде: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots = m\vec{a}$
6. Спроецировав векторные величины на координатные оси, запишите 2-й закон Ньютона в векторной форме, учитывая знаки проекции:

$$F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + \ldots = ma_x$$

7. Выразите искомую величину, получив рабочую формулу для расчета её численного значения.

Если искомой величины во 2-м законе нет, то, используя дополнительные закономерности, куда входит искомая и заданные величины, решите полученную систему уравнений.

8. Проверьте правильность размерности искомой величины.
9. Получите результат с учетом правил приближенного вычисления и оцените его числовую правдоподобность.

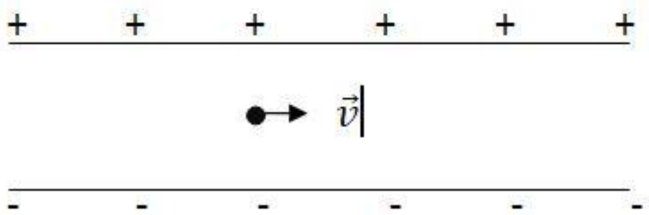
Описанная система действий приобретает характер алгоритмического предписания, приводящего к успеху, только при условии понимания и правильного выполнения всей последовательности представленной системы действий. Обратим внимание на наиболее существенные моменты данной системы.

3.2. Выполнение чертежа

Ознакомившись с условием задачи, многие пытаются с ходу решить её в уме, не понимая необходимости и принципиальной важности схематического изображения задачной ситуации. Однако именно выполняемый чертеж служит одним из самых эффективных подспорьев процесса обдумывания, осмысления и понимания задачной ситуации, определения того круга закономерностей, которые должны будут применены при её решении. В то же время изображение задачной ситуации требует применения практически всей целостной физической системы знаний классической физики.

Изображение тела

Обычно тело, в задачах по электричеству и магнетизму - заряженная частица, изображается в виде небольшого шарика:



Однако необходимо иметь в виду, что классическая механика справедлива для тел, заменяемых моделями материальных точек. Материальная точка размеров не имеет. Если же тело протяженно, то механические законы правомочны только в случаях, когда возможно считать, что вся масса тела сосредоточена в одной точке, называемой центром масс. В учебной литературе тело изображается в виде протяженных объектов исключительно в целях наглядности. Для тел правильной геометрической формы, а именно они рассматриваются в школьном курсе физики, центр масс находится в геометрическом центре.

Изображение оси

В случае отнесения задачи к кругу задач, решаемых с помощью динамического подхода, в первую очередь следует определить траекторию движения и соответственно этой траектории выбрать необходимую систему координат. Начало координат обычно помещают в начальную точку движения, а оси *OX* и *OY* (или только одна из них) чаще всего совпадают с направлением движения тела. В общем случае оси координат целесообразно направлять так, чтобы приходилось делать минимальное разложение векторов на их проекции. Для ещё большего упрощения необходимо таким образом рассматривать движение тела, чтобы появилась возможность использования только одной оси *OX*.

Исходя из данных соображений, удобнее всего направлять одну из осей вдоль направления ускорения. Отсюда следует, что, *прежде чем выбрать и изобразить ось OX, необходимо определить направления* векторов скорости и *ускорения*. Это полностью согласуется и со 2-м законом Ньютона: именно результирующая сила сообщает телу результирующее ускорение. Особенно наглядно эта особенность проявляется при движении тела по дуге окружности. Движение в этом случае происходит с центростремительным ускорением и для простоты решения задачи ось OX целесообразнее всего направлять вдоль $a_{цс}$.

Наиболее сложной операцией при выполнении чертежа является изображение действующих на тело сил. Эта операция чаще всего вызывает ошибки, поскольку она выполняется особенно неосознанно, скорее по привычке, чем исходя из конкретных условий задачи. Эта операция должна быть отработана особенно тщательно.

Изображение сил

При изображении сил, как уже указывалось, необходимо помнить, что сила характеризуется точкой приложения, направлением и модулем. При этом необходимо учитывать, что все силы, приложенные к телу, принятому за материальную точку, прикладываются к его центру масс, т.е. к геометрическому центру изображенного тела. Если на тело действует несколько сил, то точки их приложения совпадают; они все исходят из центра масс.

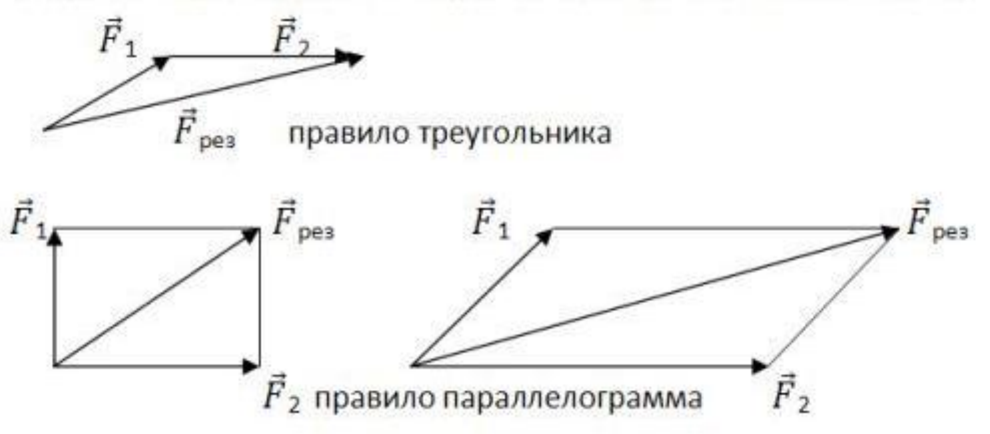
Существенным моментом при изображении сил является различение тех сил, которые действуют на тела, от сил, с которыми сами тела действуют на опоры или подвесы. Чтобы правильно изобразить силы, действующие на исследуемое тело, прежде всего, следует найти тела, которые на них действуют, поскольку точки приложения именно этих сил находятся в центре масс покоящегося или движущегося тела. У других сил точки приложения находятся в других местах.

Напомним, что точки приложения силы всегда находятся на том теле, на которое оказывается воздействие.

Изображение сил с учетом их модулей

Изображение сил с учетом их модулей самым непосредственным образом связано с осмыслением условия задачи и свидетельствует об истинном понимании физической картины задачи.

При действии на тело нескольких сил характер движения зависит от результирующей силы, которую необходимо уметь находить, как по модулю, так и по направлению. Чтобы её найти следует учитывать следующее обстоятельство. Действие сил на материальную точку не зависит друг от друга. Это означает, что **каждая из сил, действующих на тело, сообщает ей такое ускорение, как если бы других сил не было (принцип независимости действия сил)**. Результирующее ускорение равно геометрической сумме ускорений, сообщаемой каждой силой в отдельности. **Модуль и направление результирующего ускорения таковы, как если бы на тело действовала одна сила, равная векторной сумме приложенных к телу сил.** Равнодействующая сила находится по правилу геометрического сложения



Чтобы произвести векторное сложение и получить модуль и направление результирующей силы *необходимо учитывать направление и модуль каждой отдельной силы*. При этом важно помнить, что **изображение модулей сил предполагает учет и понимание всех трех законов Ньютона.**

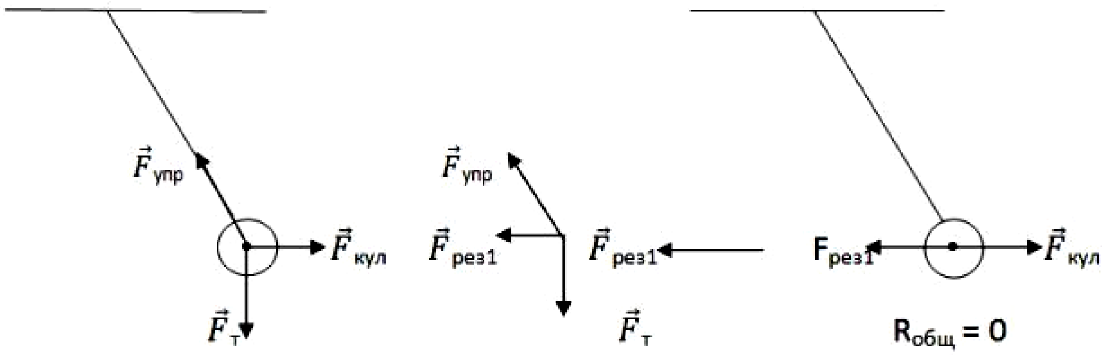
Если тело покоится или движется РПД, то, согласно 1-му закону Ньютона, действие всех сил скомпенсировано и *равнодействующая сила равна нулю*. Это возможно только тогда, когда силы, направленные в одну сторону, по модулю равны силам, направленным в противоположную сторону.

Если тело движется ускоренно, то должна быть *больше та сила,* которая *направлена в сторону ускорения* (при действии 2-х сил); если сил больше двух, то больше должна быть та сумма сил, которая сонаправлена с ускорением.

Встречаются случаи, когда решение упрощается, если применить правило разложения силы на её составляющие. В этих ситуациях также следует операцию разложения производить таким образом, чтобы составляющие по одному направлению компенсировались составляющими сил, направленных в другую. Разлагаемая сила является диагональю параллелограмма, а составляющие её силы сторонами этого параллелограмма, исходящими из точки приложения разлагаемой силы.
В случаях разложения силы необходимо помнить, что после этой операций необходимо «забыть» о существовании «разложенной» силы и пользоваться вместо неё составляющими. Или сама сила, или её составляющие.

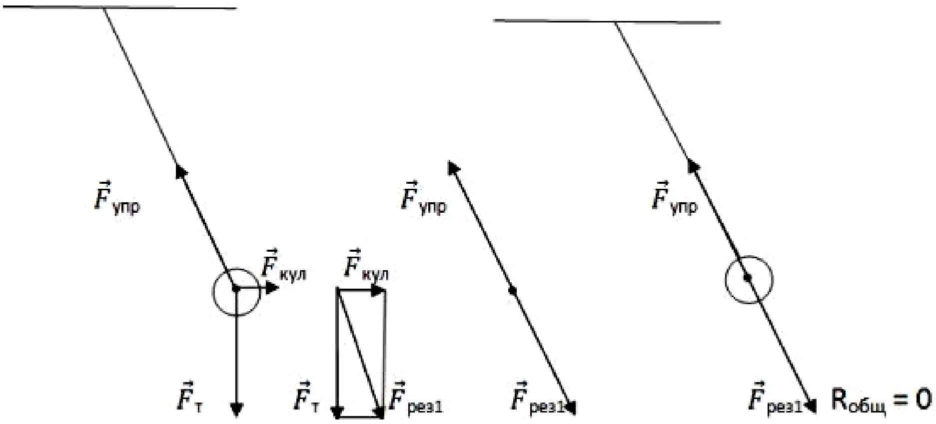
То же самое относится и к процедуре сложения сил. После произведенных операций учитывается только полученная результирующая сила. Она может быть как промежуточной (равнодействующей только части сил, действующих на тело), так и окончательной, т.е. результирующей.

Процедура сложения или разложения определяется условиями задачи с точки зрения наибольшей простоты решения задачи. При использовании принципа суперпозиции и динамического подхода в задачах по электричеству и магнетизму такие ситуации обычно встречаются при рассмотрении заряженных тел, подвешенных на нитях:



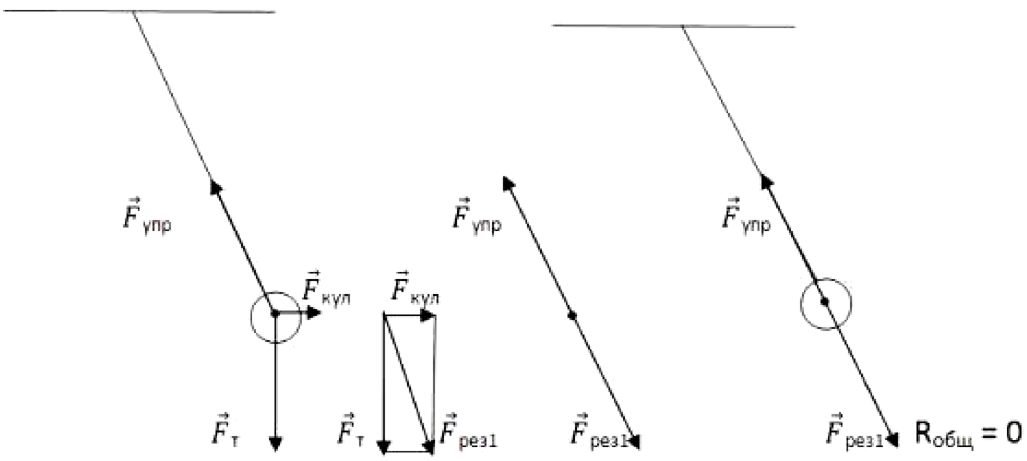
Заряженный шарик взаимодействует с другим одноименно заряженным шариком или отклоняется электростатическим полем. Действующие под углом сила упругости и сила тяжести заменены результирующей силой: сложение произведено с помощью правила параллелограмма. Теперь учитывается действие силы кулоновского взаимодействия и этой промежуточной результирующей сил упругости и тяжести. Общая результирующая по первому закону Ньютона должна быть равна нулю, следовательно, модули сил, направленных в противоположные стороны одинаковы.

В рассматриваемом случае возможно сложение и других сил.



Второе сложение отличается от первого тем, что складывались сила тяжести и кулоновская сила. Теперь учитывалась компенсация силы упругости и промежуточной результирующей сил тяжести и кулоновской силы.

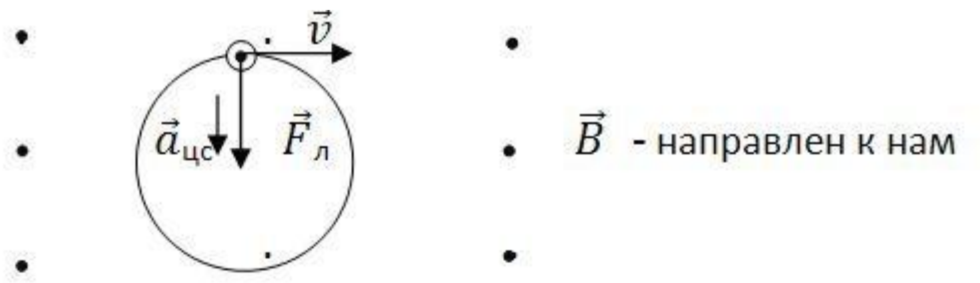
Аналогична ситуация в случае действия магнитного поля на проводник с током. Вектор магнитной индукции направлен вниз, ток течет к нам. На проводник с током действует сила Ампера, определяемая по правилу левой руки. Дополнительно на проводник действует сила тяжести и сила упругости со стороны нитей, к которым прикреплен проводник. Здесь также сила упругости компенсируется результирующей промежуточной силой. Промежуточная результирующая сила получена путем геометрического сложения силы тяжести и силы Ампера.



Как и в предыдущем случае общая результирующая равна нулю в соответствии с 1-ым законом Ньютона. Однако, можно было бы сложить силу тяжести и силу упругости. В этом случае чертеж полностью повторял бы аналогичную ситуацию по кулоновскому взаимодействию.

Если на материальную точку действуют силы, результирующая которых оказывается перпендикулярной направлению вектора скорости, то тело приобретает центростремительное ускорение. Простейшие примеры связаны с действием только одной силы. Поскольку эта сила направлена перпендикулярно скорости, то она одна и является одновременно центростремительной силой.

Физическая картина подобных задач представлена ситуациями движения заряженной частицы в стационарном магнитном поле.



Заряженная частица влетает перпендикулярно вектору магнитной индукции, направленного к нам. Со стороны магнитного поля на частицу действует сила Лоренца,направление которой определяется по правилу левой руки. Поскольку других сил нет,то сила Лоренца является одновременно и центростремительной силой. Сила Лоренца и ускорение направлены к центру описываемой частицей окружности.

В общем случае, если на тело или частицу действует несколько сил, то центростремительное ускорение направлено в сторону нескомпенсированной силы, направленной в свою очередь к центру описываемой объектоми исследования окружности.

При решении задач подобного типа необходимо твердо помнить, что **центростремителная сила не является какой-то особой дополнительной силой,** действующей на тело. **Это** есть **равнодействующая всех сил, приложенных к телу**.Если же на тело действует только одна сила, то она, будучи одновременно и центростремительной силой, направлена к центру описываемой телом окружности.

Еще раз подчеркнем, что задача может быть успешно решена только при условии четкого и ясного понимания задачной ситуации, которая наиболее глубоко осмысляется при графическом изображении модели описываемого в задаче физического явления, т.е. при выполнении чертежа. Выполнение чертежа предполагает понимание физического смысла происходящего с телом физического процесса. Только в этом случае решение задачи не будет сводится к механическому перебору формул, несущественных для физической картины задачи.

Процесс выполнения чертежа – необходимое и обязательное условие успешности решения задачи. Разумеется, в простых задачах можно обойтись построением чертежа «в уме»,тем не менее и в этом случае происходит виртуальное построение рисунка или чертежа. Пренебрежение данным пунктом алгоритмического предписания практически всегда приводит к проблемам и неправильному решению задачи.

3.3. Математическое решение

Сделав чертеж, следует еще раз прочитать условие и еще раз, проанализировав условие и данные задачи, убедиться в том, что при её решении можно использовать динамический подход. Следовательно, необходимо вспомнить структуру действий алгоритмического предписания и начать его выполнять.

Уточним еще раз, что динамика - раздел механики, изучающий механическое движение тел (материальных точек) с выяснением причин особенностей поведения тел. В основе динамики лежат три закона Ньютона. Основная задача механики состоит в определении координаты материальной точки. В общем случае для этого необходимо определить ускорение по действующим на тело силам. Обратная задача заключается в определении сил по заданным характеристикам движения.

Основной закон, на котором базируеся процесс решения, - 2-й закон Ньютона. Его математическая запись выражает причинно-следственную механическую связь, указывая на то, что причиной появления ускорения является сила. В случае действия нескольких сил тело приобретает такое ускорение, как если бы на тело действовала одна сила, равная геометрической сумме этих сил – результирующая сила.

Обратим внимание, что природа силы при этом значения не имеет; она может быть гравитационной, электоромагнитной или ядерной.

Кинематические особенности и характеристики движения, и сам закон движения остаются неизменными и в случаях движения тел и в случаях движения заряженной частицы в магнитных или электрических полях. Второй закон Ньютона выполняется во всех данных ситуациях.

Различие в решении состоит только в формулах подсчета численных значений действующих сил.

При записи 2-ого закона Ньютона часто допускаются ошибки двоякого рода. Первая ошибка связана с пониманием природы «движущей силы». Считая что это какая-то особая сила, действующая на тело, её вписывают во 2-й закон Ньютона наряду с другими силами. Здесь надо четко понимать, что равнодействующая сила представляет собой геометричесую сумму всех сил, действующих на тело. Особой движущей силы не существует.

Вторая распространенная ошибка связана с самой записью геометрической суммы сил, определяющей модуль результирующей силы. Результирующая сила представляет собой геометрическую сумму сил, действующих на саму материальную точку (тело или частицу). Во 2-й закон Ньютона нельзя вписывать силы, с которыми она сама действует на контактирующие с ней тела.

Записывая 2-й закон Ньютона для тел, движущихся по окружности или по дуге окружности, следует подчеркнуть особый характер ускорения. Оно является центростремительным, т.е. направлено к центру окружности и для его вычисления существует особая расчетная формула. Математическая запись 2-го закона динамики также должна фиксировать данную особенность движенияи записываться в виде:

$$\vec{F}_{рез} = m\vec{a}_{\text{цс}}$$

Однако, сам процесс решения задачи на динамику движения тела по окружности принципиально ничем не отличается от решения задач на динамику поступательного движения материальной точки. Просто необходимо помнить, что направление вектора ускорения задано самим условием задачи: оно направлено к центру соответствующей окружности. Следовательно, модуль силы, направленной к центру окружности будет больше ,что следует отобразить на чертеже.

Если по условию задачи требуется найти величину, не вхоящую во 2-й закон динамики, то следует использовать дополнительные закономерности, связывающие искомую величину с величинами, заданными в задаче. Обычно это кинематические закономерности для различных видов механического движения:

$s = v\,t$ для РПД;

$s = \pm v_0 t \pm at^2/2$ для РУД или РЗД;

$v = \pm\, v_0 \pm at$ для РУД или РЗД;

$S = \frac{V_K - V_0}{2a}$ для РУД или РЗД, если не известно время движения.

В задачах на движение частиц в магнитных или электрических полях дополнительно используются специфические закономерности из соответствующий разделов физики , что будет показано в задачах соответствующего типа. Чаще всего это формулы электрических или магнитных сил.

Запись решения задачи

Особенность задачного подхода заключается в том, что в ходе решения задачи приходится переходить от реальной ситуации к построению физической модели этой ситуации и затем от физической модели переходить к её математическому описанию, т.е. сводить физическую задачу к математическому описанию рассматриваемого физического явления или процесса.

Условием правильного математического описания физической модели выступает не только понимание физического смысла задачной ситуации, но и знание

а) существования фундаментальных физических законов, описывающих разнородный круг физических явлений,

б) условий возможности применения некоторых из них к широкому кругу типовых задач из различных разделов физики,

в) существовании границ применимости фундаментальных физических законов и законов различной степени общности.

Обычно фундаментальность тех или иных законов и становится условием разработки обобщенных методов решения физических задач, своеобразным ключом к применению физических законов из одного раздела физики к другим разделам, что справедливо к такому подходу, как динамический. В то же время в этом случае существенным моментом становится знание границ применимости тех или иных законов.

Важно понимать, что любой физический закон имеет строго определенные границы применимости. Иногда рамки этих условий достаточно широки. В других случаях физические закономерности имеют узкие рамки и границы своего использования.

Механический перебор формул того или иного раздела, достаточно часто применяемый при попытках решить задачу, как раз и свидетельствует о непонимании существования границ использования законов. Поэтому, сводя физическую задачу к математической, прежде всего следует оперировать знанием границ применимости той физической закономерности, которую пытаются использовать, независимо от того, что в ней стоят величины, заданные в условии задачи.

В динамическом подходе особенно часто такая путаница происходит при отождествлении одинаковых величин, описывающих равномерное и неравномерное движения. Так, формулу расчета скорости для РПД ($\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$) пытаются применить при ускоренном характере движения, что неизбежно приводит к ошибкам решения.

Другим значимым моментом при оформлении решения задачи является понимание разницы записи законов в векторном виде от записи этого же закона в скалярной форме. При условии вхождения в закон векторных величин исходной формой записи является векторная запись. Однако, при нахождении численных значений искомых величин слудует перейти от векторного к скалярному виду. Поэтому в динамическом подходе после записи 2-го закона Ньютона в векторном виде необходимо произвести операцию проецирования векторных величин и записать закон с учетом знаков проекций. Только после операции проецирования возможны все последующие математические выкладки.

После операции проецирования получается одно или несколько математических уравнений, влючающих в себя как заданные, так и неизвестные величины . Решение уравнений следует начинать с исключения тех неизвестных величин, которые не требуется находить по условию задачи и следить за тем, чтобы при последующих алгебраических действиях число неизвестных величин уменьшалось. Для этого применяются дополнительные закономерности, в том числе из других физические разделов и тем. Достаточно часто прибегают и к использованию геометрических и тригонометрических соотношений.

Решение должно быть записано с использаванием общепринятой физической символики. Иногда следует использовать и связный текст, поясняющий логику и ход рассуждений, обосновывающий применение того или иного закона или физического принципа. Заканчивается решение расчетом искомой величины и проверкой правильности полученного численного значения.

В следующих частях пособия представлены конкретные примеры использования динамического подхода для решения обширного круга задач из самых различных разделов и тем по электричеству и магнетизму. Подчеркнем, что предлагаемый подход при решении задач динамическим способом можно назвать физическим моделированием, поскольку решаемая задача сводится к определению и решению «базовой модели», т.е. к решению матричной задачи определенного кластера или круга похожих, аналогичных задач, отличающихся друг от друга лишь некоторыми частными элементами задачной ситуации. Довольно часто это сводится к тому, что если в одной задаче какая-либо величина выступает как искомая, то в другой - эта величина представляет заданное условие для поиска других физических величин.

В общем случае процесс самообучения решать задачи на одной задаче означает знакомство и разбор «по косточкам» механизма решения базовой, типовой или стандартной задачи. Остальные задачи будут представлять собой частные случаи «материнской» задачи или комбинацию таковых в случае более сложных или комплексных задач. Успешность использования динамического подхода зависит прежде всего от умения правильно обнаруживать эти базовые задачные ситуации и определять особенности его использования в рассматриваемом случае.

Одна из особенностей работы по данному пособию заключается в понимании того, что оно не заменяет собой учебника физики. Поэтому в нем указывается минимум теоретических сведений. Соответственно, при разборе задач необходимо сначала повторить конкретный раздел учебника. Затем необходимо внимательно разобрать примеры решения типовых, базовых, модульных задач и затем перейти к решению специально подобранной системы задач. Специфичность подобранной системы основывается на том, что формирование навыка решения задач начинается с решения задач тренировочного характера конкретного кластера задач.

Решая тренировочные задачи, предстоит научиться выполнять однотипные действия в измененных и постоянно усложняющихся обстоятельствах. Следует иметь в виду, что важно последовательно и неукоснительно выполнять все указанные действия алгоритмического предписания, не пытаясь решить задачу в «уме». При формировании того или иного навыка принципиально важное значение имеет усвоение полного и безошибочного выполнения всей последовательности необходимых операций. Практика показыват, что поспешность и мнимая уверенность неизбежным образом сказывается даже при незначительном изменении условий задачи. К тому же , при решении «в уме» часто допускаются арифметические просчеты, заводящие в тупик и разочарования.

Другими словами, каждая тренировочная задача решается по образцу подробно и тщательно. Самоконтроль осуществляется при решении контрольных задач.

Подчеркнем ещё раз, что сущностное, принципиально важное значение в формировании навыка решения задач с использованием динамического подхода имеет навык изображения действующих на материальную точку сил. Отсутствие или недостаточная сформированность данного навыка особенно сильно сказывается при решении достаточно простых задач по электростатике и электродинамике.

Практика контрольных срезов свидетельствует о том, что при решении задач по механике изображение механических сил зачастую происходит « по памяти», формально и без подлинного осмысления понимания того, почему изображаются именно эти силы. Поэтому, когда необходимо изображение «необычных» для механики сил этот «пробел» и приводит к многочисленным ошибкам

Базовыми задачами для всех задач по электростатике и электромагнетизму будут являтся задачи, где следует находить результирующую электрических сил.

Глава 4. Техника и методика решения задач с использованием динамического подхода

4.1. Принцип суперпозиции. Нахождение результирующей физической величины

Термин «суперпозиция» расшифровывается как «наложение», т.е. он применим к случаям, когда на материальную точку осуществляется (накладывается) одновременное действие нескольких внешних объектов. Материальной точкой при этом могут выступать заряженные и незаряженные тела, а действующими объектами – как внешние тела, так и различные электрические и магнитные поля. Сам принцип суперпозиции дает возможность определить результирующее действие нескольких объектов и используется при нахождении:

- равнодействующей нескольких сил, действующих на одну и ту же материальную точку (тело или заряд);
- результирующей напряженности системы электрических зарядов;
- результирующего потенциала системы электрических зарядов.

В то же время принцип суперпозиции используется как вспомогательный прием при нахождении физических величин, характеризующих любое силовое действие на тело, заряд или проводник с током.

Напомним, что принцип суперпозиции является следствием принципа независимости действия сил (тел). Каждая сила, действующая на исследуемый объект, независимо от своей природы, сообщает телу такое ускорение, которое бы оно имело независимо от действия других тел. В итоге тело приобретает ускорение, имеющее направление и модуль, совпадающее с результирующей силой, равной геометрической сумме всех сил, действующих на тело.

$$\vec{F}_{\text{рез}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots \vec{F}_{\text{n}}$$

Аналогичным образом находится и результирующая напряженность системы электрических зарядов:

$$\vec{E}_{\text{рез}} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots \vec{E}_{\text{n}}$$

Нахождение результирующей величины происходит с помощью правила параллелограмма. Сначала с помощью правила параллелограмма складывают два вектора, затем получившаяся промежуточная равнодействующая складывается со следующим вектором и так далее до тех пор, пока все векторные величины не будут сведены к одной равнодействующей. При этом учитываются все характеристики вектора : точка приложения, направление и модуль.

Принцип суперпозиции может использоваться и в скалярном виде, если производится сложение скалярных величин. Таким образом находится потенциал системы зарядов:

$$\Phi_{\text{рез}} = \Phi_1 + \Phi_2 + \ldots \Phi_{\text{n}}$$

В этом случае при сложении должен учитываться знак скалярной величины (положительная она или отрицательная).

4.1.1.нахождение результирующей кулоновской силы в системе зарядов

Основопологающим понятием задач данного типа является понятие электрического заряда. *Заряд – скалярная физическая величина, определяющая интенсивность электромагнитного взаимодействия.* Различают два вида зарядов, условно названных положительным и отрицательным. Для зарядов справедлив закон сохранения заряда: *При любых процессах в замкнутой системе зарядов её полный электрический заряд остается неизменным*

$$q_1 + q_2 + \ldots = q'_1 + q'_2 + \ldots$$

Основным законом электростатики является *закон Кулона*, задаваемый следующим выражением для расчета модуля кулоновской силы:

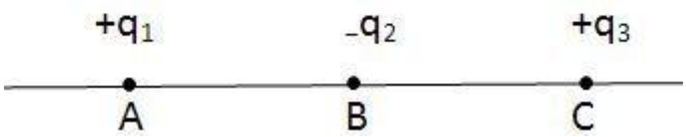
$$F = k\frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^2},$$

где ε - диэлектрическая проницаемость среды; k– коэффициент пропорциональности, в СИ равен $9 \cdot 10^9 \frac{\text{Нм}^2}{\text{Кл}^2}$.

Следует иметь в виду, что закон Кулона справедлив только для точечных неподвижных зарядов.

Задача

Найдите силу, действующую на заряд $q_2 = -1{*}10^{-7}$ Кл, если заряды $q_1 = 10^{-7}$ Кл и $q_3 = 2{*}10^{-7}$ Кл расположены в воздухе. Расстояние АВ =
= ВС = 10 см.

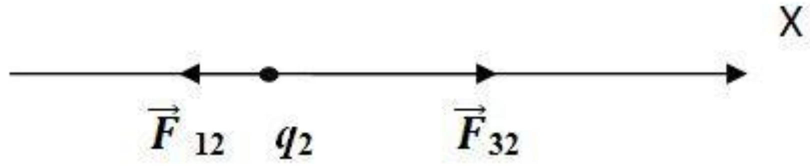


Дано:
q_1=10^{-7}Кл
q_2=$-1\cdot10^{-7}$Кл
q_3=$2\cdot10^{-7}$Кл
АВ=ВС=10 см=0,1 м

$F_{рез}$ - ?

Анализ задачной ситуации показывает, что к данной задаче применим динамический подход, поскольку рассматривается взаимодействие точечных зарядов, которые моделируются материальными точками. Следовательно, при решении применим алгоритм динамического подхода с помощью которого находится результирующая сила.Поскольку на q_2 действует два заряда, то необходимо найти результирующую этих двух сил. Для этого го изобразим данные силы.

Точки приложения сил находятся на q_2.:



Положительный заряд q_1 притягивает к себе отрицательный заряд q_2, поэтому сила F_{12} направлена к заряду q_1. Точка приложения этой силы находится на заряде q_2. Положительный заряд q_3 также притягивает к себе отрицательный заряд q_2, поэтому F_{32} направлена к заряду q_3. Точка приложения этой силы также находится на заряде q_2. В то же время модуль q_3 больше q_1 и,поскольку расстояния до зарядов одинаковы, то $F_{32} > F_{12}$. Поэтому длина этого вектора больше. Результирующая сила равна геометрической сумме сил F_{12} и F_{32}: $\vec{F}_{рез} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32}$. Для перехода к скалярному виду необходимо спроецировать вектора сил на ось OX. Проекция силы F_{12} отрицательна, а проекция силы F_{32} положительна. Соответственно, уравнение примет вид: $F_{рез}=- F_{12}+ F_{32}$. Обычно положительная величина записывается первой : $F_{рез}= F_{32} - F_{12}$. Теперь остается подставить формулы расчета сил, используя закон Кулона, и вычислить численное значение результирующей силы:

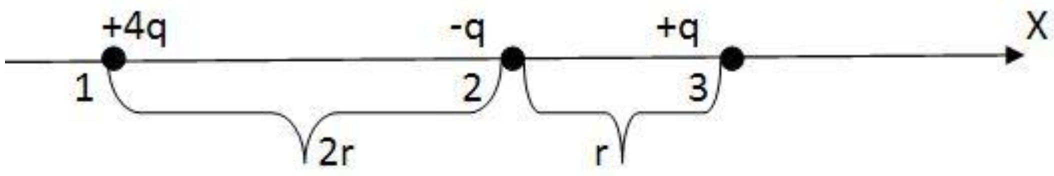
$F_{рез}= k\frac{q_3\, q_2}{r^2}$ - $k\frac{q_1 q_2}{r^2} = k\frac{q_2}{r^2}(q_3 - q_1) = 9\cdot 10^9\frac{1*10^{-7}}{0{,}1^2}(2 - 1) = 9\cdot 10^4(H)$

Ответ: $F_{рез}=9 * 10^4$Н

Задача

Если заряды 1 и 2 закреплены, а заряд 3 свободен, то он:

1) *Перемещается влево ускоренно*
2) *Перемещается влево равномерно*
3) *Остается в состоянии покоя*
4) *Перемещается вправо ускоренно.*

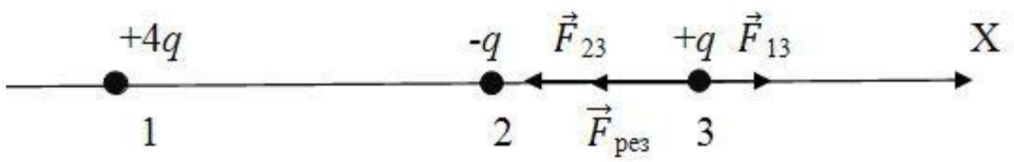


Чтобы выбрать правильный ответ, необходимо найти равнодействующую силу, действующую на заряд q_3 . Если она будет равна 0, то, согласно 1-му закону Ньютона, заряд q_3 будет находится в покое или двигаться РПД. Если равнодействующая не будет равняться 0, то заряд будет двигаться ускоренно в сторону равнодействующей силы, поскольку именно она сообщает заряду ускорение. Для этого начинаем построение сил, действующих со стороны первого и второго зарядов на исследуемый заряд. Точки приложения сил находятся на q_3. Сила, действующая со стороны первого заряда направлена вправо: одноименные заряды отталкиваются. Сила со стороны второго заряда направлена влево : разноименные заряды притягиваются. Чтобы определить направление равнодействующей необходимо определить, какая из сил больше, следовательно, следует определить модули сил.

$$F_{13} = \mathrm{k}\frac{q_1 q_3}{r^2} = k\,\frac{q_1 q_3}{(2r+r)^2} = k\,\frac{4q^2}{(3r)^2} = \mathrm{k}\frac{4q^2}{9r^2} = \frac{4}{9}\cdot k\,\frac{q^2}{r^2}$$

$$F_{23} = \mathrm{k}\frac{q_2 q_3}{r^2} = \mathrm{k}\frac{q^2}{r^2}$$

Больше сила F_{23}, следовательно, равнодействующая направлена в сторону этой силы, т.е. влево.

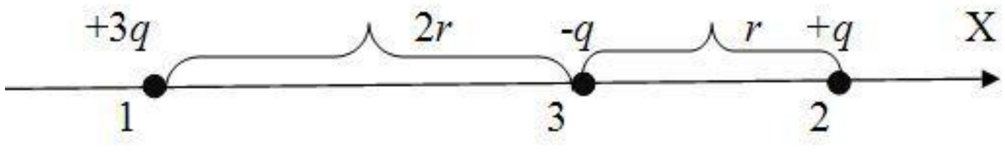


Теперь можно ответить на вопрос задачи: равнодействующая сила направлена влево, следовательно, заряд q_3 будет двигаться ускоренно влево. Правильный ответ - ответ №1.

Задача

Если заряды 1 и 2 закреплены, а заряд 3 свободен, то он:

1)Перемещается влево ускоренно
2)Перемещается влево равномерно
3)Остается в состоянии покоя
4)Перемещается вправо ускоренно.

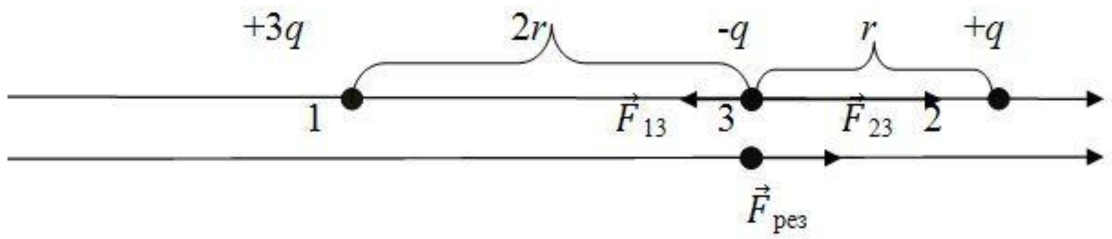


Все рассуждения аналогичны предудущей задаче. Необходимо найти модуль и направление результирующей силы. Точки приложения сил находятся на q_3. F_{13} направлена влево: первый заряд притягивает третий к себе. F_{23} направлена вправо: второй заряд притягивает к себе третий. Чтобы найти состояние третьего заряда надо определить равнодействующую, для чего определяем модули сил:

$$F_{13} = k\frac{q_3 q_1}{(2r)^2} = k\frac{3qq}{4r^2} = k\frac{3q^2}{4r^2}$$

$$F_{23} = k\frac{q_2 q_3}{r^2} = k\frac{q^2}{r^2}$$

Сравниваем силы: больше F_2



Обратим внимание на очень существенный момент. В предыдущей задаче была больше также сила $F_{23,}$ но направление этой силы, а, следовательно, равнодействующей и ускоренного движения совсем другое. Решающее значение имеет расположение и знак исследуемого заряда, а они изменились по сравнению с предыдущей задачей.

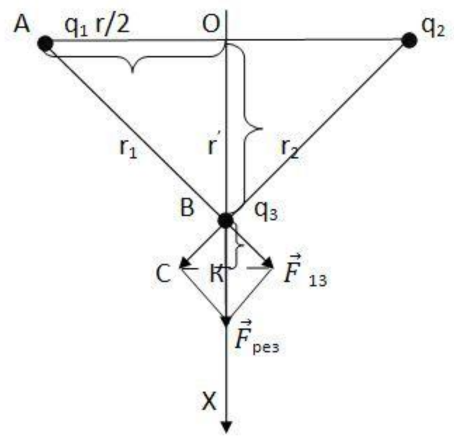
При решении этих двух задач имелась еще одна особенность. Требование задач не предусматривало расчета численного значения равнодействующей силы, ответ был определен при сравнении выражений модулей отдельных сил. Другими словами, была использована лишь часть алгоритма решения задач с использованием динамического подхода, что для данной ситуации является вполне обоснованным. Таким образом, при использовании любого подхода необходимо не формальное, а вполне осмысленное его применение.

Задача

Два заряда по 25 нКл каждый, расположенные на расстоянии 24 см друг от друга, образуют электростатическое поле. С какой силой это поле действует на заряд 2 нКл, помещенный в точку, удаленную на 15 см. от каждого из зарядов, если заряды,образующие поле, одинаковы?

Дано
$q_1 = q_2 = 25$ нКл$=25\cdot10^{-9}$ Кл
$r = 24$ см$=0,24$ м
$r_1 = r_2 = 15$ см$= 0,15$ м
$q_3 = 2$ нКл$=2\cdot10^{-9}$ Кл

$F_{рез}$ - ?



Первоначально нужно определить место 3-го заряда. На прямой, соединяющей заданные заряды, третий заряд находится не может. Половина этого расстояния равна 12 см, а по условию задачи , третий заряд должен находиться от каждого заряда на расстоянии 15 см. Поэтому исследуемый заряд должен располагаться в стороне, а именно – на перпендикуляре, восстановленном из середины прямой, соединяющей заряды q_1 и $q_{2.}$ (в точке В). На этот заряд действуют силы $\vec{F}_{13}$ и $\vec{F}_{23,}$, направленные под углом друг к другу, следовательно, результирующая сила является диагональю параллелограмма, построенного на этих силах. В то же время она представляет собой удвоенную проекцию векторов этих сил: $F_{рез}$= 2ВК. Соответственно, нахождение результирующей сводится к нахождению ВК. ВК найдем из силового треугольника ВСК:

ВК $=F_{13} = F_{13}\cos\alpha = F_{13}\cos CBK$; $\quad \cos CBK = \frac{BK}{CB} = \cos ABO$

$F_{рез}$= 2ВК $=2F_{13}\,\frac{OB}{AB} = 2k\frac{q_1q_3}{r_1{}^2}\cdot\frac{r'}{r_1} = \frac{2kq_1q_3r'}{r_1{}^3}$

$F_{рез} = \frac{2\cdot 9*10^9*25*10^{-9}*2*10^{-9}*9*10^{-2}}{(15^{-2})^3} = 24\cdot10^{-6}(H)$= 24мкН

Расстояние r'равно 9см, поскольку треугольник АОВ – египетский : соотношения стандартных сторон 3:4:5 заменены отношениями сторон, увеличенными в 3 раза – 9:12:15. Заданными были стороны 12 и 15, следовательно, сторона ОВ = r', равна 9см.

Второй способ решения основан на подобии треугольников ОАВ и СКВ. Используется подобие соответствующих сторон:

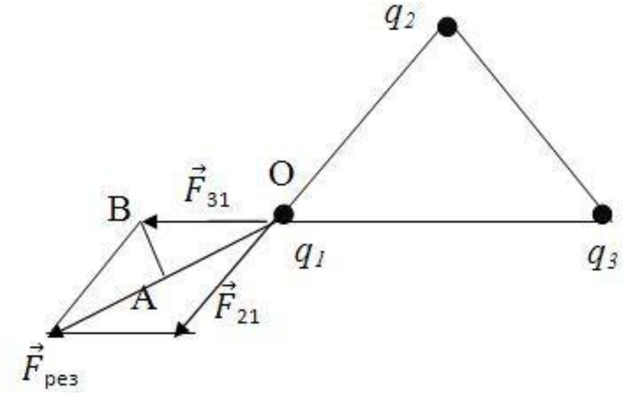
$\frac{BK}{CB} = \frac{OB}{AB}$ $\qquad$ ВК $= \frac{OB\,CB}{AB}$ $\qquad$ $F_{рез}$= 2ВК $\quad$ $Fрез = 2F_{13}\frac{OB}{AB}$.

Получено выражение, полностью совпадающее с рабочей формулой предыдущей задачи. Все остальные математические действия аналогичны.

Задача

Три одинаковых положительный точечных заряда находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной 30 см. Сила, действующая на каждый заряд , равна 17,3 Н. Найти величину зарядов.

Дано:
L=30 см=0,3м
$F_{рез}$ = 17,3 Н
q - ?



Поскольку на каждый заряд действуют два других, то для рисунка используем только одну ситуацию и рассмотрим силы, действующие на первый заряд q_1 . На него действуют второй и третий заряды с одиаковыми силами, поскольку расстояния до этих зарядов одинаковы (закон Кулона). Точки приложения сил находятся на заряде q_1 и направлены вдоль сторон треугольника (кулоновские силы центральные и направлены вдоль прямой, соединяющей взаимодействующие заряды). Они направлены под углом друг к другу, а сила, данная по условию задачи – результирующая их совместного действия, являющаяся диагональю параллелограмма, построенного на этих силах, как на сторонах. С другой стороны $F_{рез}$ является суммой проекций сил F_{21} и F_{31} на диагональ параллелограмма. В силовом треугольнике OAB известен катет OA =1/2 $F_{рез}$. Он равен $1/2 * 17{,}3$Н,т.е. он равен 0,63Н. Катет OB этого треугольника представляет силу F_{31} и может найтись из закона Кулона:

$$F_{31} = k\frac{q_3 q_1}{r^2} = k\frac{q^2}{r^2} = k\frac{q^2}{L^2}$$

В этом силовом треугольнике известны все углы. Угол AOB = ½ угла равностороннего треугольника - 180: 3 :2 = 30°. Соответственно, F_{31} можно найти из геометрических соображений:

$\cos AOB = \frac{OA}{OB}$ OB = $\frac{OA}{\cos\alpha} = \frac{1/2 F_{рез}}{\cos AOB}$

Таким образом, катет OB треугольника выражен двумя способами и соответствующие математические выражения можно приравнять:

$$k\frac{q^2}{L^2} = \frac{1/2F_{рез}}{\cos\alpha} \qquad q = \sqrt[2]{\frac{1/2F_{рез*}L^2}{k\cos\alpha}}$$

$$q = \sqrt[2]{\frac{8{,}63*0{,}3^2}{9*10^9*0{,}866}} = \sqrt[2]{\frac{0{,}0996535}{10^9}} = \ldots$$

В знаменателе стоит нечетная степень, извлечь корень невозможно. Степень необходимо сделать четной. Для этого числитель и знаменатель уменьшаем в 10 раз:

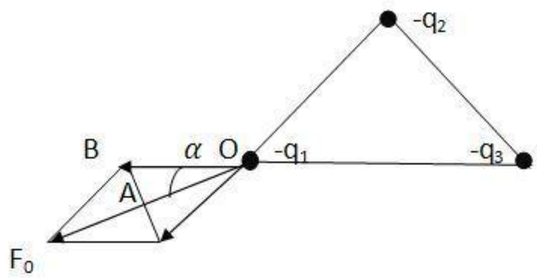
$q = \sqrt[2]{\frac{0{,}00996535}{10^8}} = \frac{0{,}0998263}{10^4} \approx 0{,}1*10^{-4} = 1*10^{-5} = 10*10^{-6} = 10$ мкКл.?

Задача

Три отрицательных заряда по $7\cdot10^{-9}$ Кл каждый расположены в вершинах равностроннего треугольника. Сила, действующая на каждый заряд $F_0 = 0{,}01$ Н. Определить длину «а» строны треугольника.

ДАНО:
$q_1=q_2=q_3=7\cdot10^{-9}$ Кл
$F_0 = 0{,}01$ Н

а - ?



Первичный анализ задачи показывает, что она полностью аналогична предыдущей задаче. Отличие состоит в том, что найти надо не заряд, а сторону треугольника. Поэтому физический анализ задачной ситуации уже осуществлен. Решение аналогично:

$$\vec{F}_0 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31};$$

$\vec{F}_0$ является диагональю параллелограмма, следовательно OA = ½ F_0 = 0,005Н. Из силового треугольника OBA найдем OB:

$$\cos\alpha = \frac{OA}{OB} \qquad OB = \frac{OA}{\cos\alpha}$$

С другой стороны OB является силой, с которой заряд q_3 действует на заряд q_1 и эту силу можно найти из закона Кулона: $F_{31} = k\frac{q_1\,q_3}{a^2} = k\,\frac{q^2}{a^2}$

Одна и та же сторона треугольника найдена двумя способами. Приравниваем эти выражения:

$$k\,\frac{q^2}{a^2} = \frac{1/2F_0}{\cos 30^\circ} \qquad a^2 = \frac{kq^2}{1/2F_0}\cos 30^\circ$$

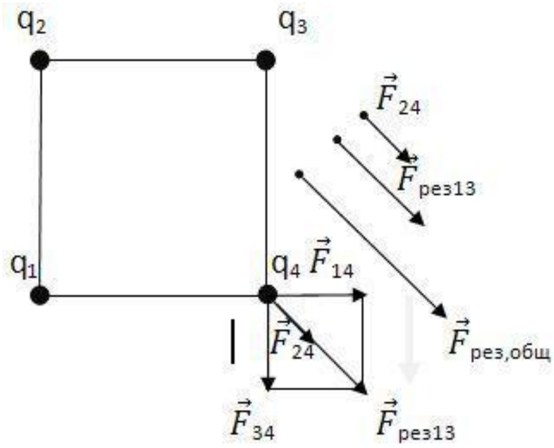
a = $\sqrt{\frac{9*10^9(7*10^{-9})\quad ^2*0{,}866}{0{,}005}} = \sqrt[2]{76381{,}2*10^{-9}} = \sqrt[2]{76{,}38\quad *10^{-6}}$ =0,087 (м)

Задача

Четыре одинаковых положительных точечных зарядов по 3 $*10^{-9}$Кл закреплены в вершинах квадрата со стороной 10 см. Найти силу, действующую со стороны трех зарядов на четвертый.

Дано:
$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 3\cdot10^{-9}$ Кл
a = 10 см= 0,1м

$F_{рез}$ - ?



На четвертый заряд действуют три заряда. $\vec{F}_{рез} = \vec{F}_{14} + \vec{F}_{24} + \vec{F}_{34}$

Силы, действующие со стороны первого и третьего направлены под углом. Они складываются по правилу параллелограмма. Их результирующая – диагональ данного параллелограмма. Модуль $F_{рез13}$ найдем, используя теорему Пифагора: $F^2_{рез13} = F^2_{14} + F^2_{34} = 2\,F^2_{14}$,

$$2\,F^2_{14} = 2\,\frac{q_1q_4}{a^2} = 2\,\frac{q^2}{a^2}$$

Теперь с этой промежуточной результирующей силой необходимо сложить силу F_{24}. Сама $F_{24} = k\frac{q_2q_4}{2a^2} = k\frac{q^2}{2a^2}$ Эта сила направлена вдоль $F_{рез13}$. Теперь, чтобы найти общую результирующую, их необходимо сложить алгебраически:

$F_{рез} = F_{рез13} + F_{24} = 2k\,\frac{q^2}{a^2} + k\,\frac{q^2}{2a^2} = \frac{2k*2q^2+kq^2}{2a^2} = \frac{5kq^2}{2a^2}$

$F_{рез} = \frac{5kq^2}{2a^2} = \frac{5*9*10^9}{2*0{,}1^2}\,9*10^{-18} = 20250\,*10^{-9} = 20{,}2*10^{-6}$ (Н)

Задача

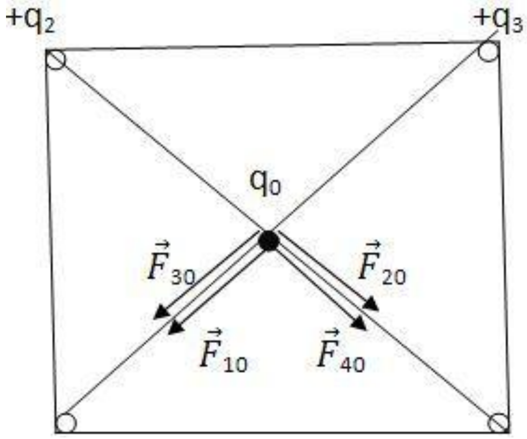
Четыре одинаковых по величине точечных заряда, из которых два положительных, а два отрицательных, расположены в вершинах квадрата со стороной 20 см. Найти силу, на помещенный в центре квадрата, такой же по величине положительный заряд в $7 * 10^{-9}$Кл.

Дано:

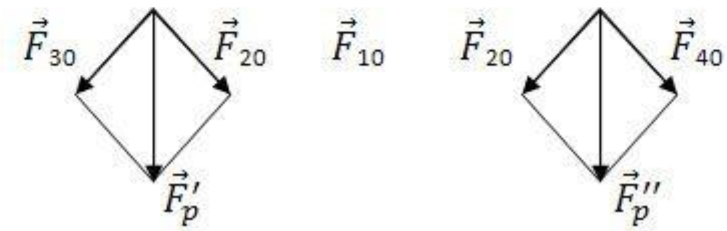
$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 7 \cdot 10^{-9}$Кл

а =20 см =0,2м

F_0 - ?



На заряд q_0 действует 4 силы. Положительные заряды, находящиеся сверху, отталкивают q_0, а отрицательные притягивают к себе. Система зарядов расположена таким образом, что силы F_{20} и $F_{40,}$ как и силы F_{10} и $F_{30,}$ сонаправлены и попарно направлены в одну сторону. Поскольку каждая из пар сил направлены под углом друг к другу, геометрическое сложение должно производится по правилу параллелограмма.



Чтобы получить общую результирующую необходимо алгебраически сложить F_p' и F_p'', поскольку они сонаправлены. Весь физический анализ можно математически оформить следующим образом:

$F_{рез} = F_p' + F_p'' = 2F_p'$ $\quad F_p' = \sqrt{F_{10}^2 + F_{40}^2} = \sqrt{2F_{10}^2} = F_{10}\sqrt{2}$

$F_{рез} = 2F_p' = F_{10}\sqrt{2} = 2\sqrt{2} \cdot k\,\frac{q_0 q_1}{2a^2/4} = 62366{,}815 \cdot 0^{-9} \approx 62{,}4 \cdot 10^{-6}$ (Н)

4.1.2. Нахождение напряженности электрического поля нескольких электрических зарядов

Понятие напряженности – базовое понятие электростатики, входящее в достаточно обширный круг задач, среди которых имеется несколько наиболее распространенных типов:

определение $E_{рез}$ поля двух зарядов → определение $E_{рез}$ поля трех зарядов → определение $E_{рез}$ поля четырех зарядов

равновесие заряда в электрическом поле → ускоренное движение заряда в электрическом поле

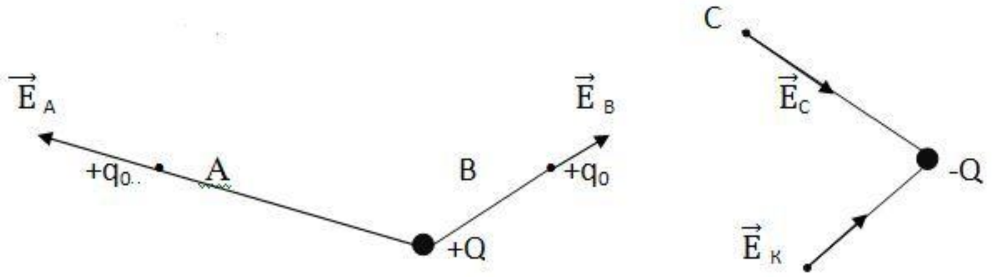
Все выделенные типы задач базируются на базовом упражнении по определению модуля и направления напряженности электрического поля, поэтому, прежде всего, необходимо научиться этой операции, для которой существует конкретный алгоритм, исходящий из определения напряженности.

Напряженность электрического поля – *физическая величина, численно оценивающая силовое действие электрического поля и численно равная отношению силы, действующей на электрический заряд, к модулю данного заряда:* $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$

Поскольку напряженность – силовая характеристика электрического поля, то её **направление совпадает с направлением силы, действующей на положительный пробный заряд + q_0.** Именно поэтому определение направления напряженности сводится к определению направления силы, действующей на $+q_0$. Для этого необходимо выполнить следующую систему действий:

- соединить исследуемую точку поля с зарядом, «создающим» поле,
- мысленно поместить в исследуемую точку поля пробный заряд $+q_0$,
- определить направление силы, действующей на мысленно помещенный заряд $+q_0$ с учетом знака заряда, «создающего» поле,

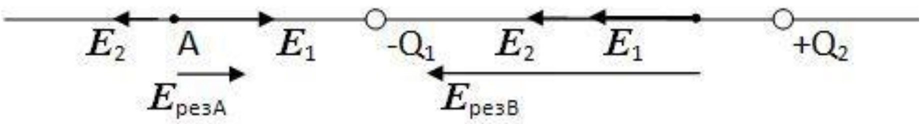
- изобразить направление E в данной точке поля, совпадающее с направлением ранее и предварительно определенной силы,
- использование этого правила показывает, что линии E «выходят» из положительного заряда и «входят» в отрицательный заряд.



Если точка находится в поле, создаваемым несколькими зарядами, то данную операцию необходимо проделать для каждого заряда. Общая напряженность получается путем последовательного применения правил геометрического сложения (правила параллелограмма) для каждого вектора напряженности. Процедура полностью аналогична процедурам по нахождению результирующей силы.

Для примера рассмотрим систему случаев, где модули отдельных напряженностей одинаковы.

1. Точки находятся на одной прямой линии с зарядами.

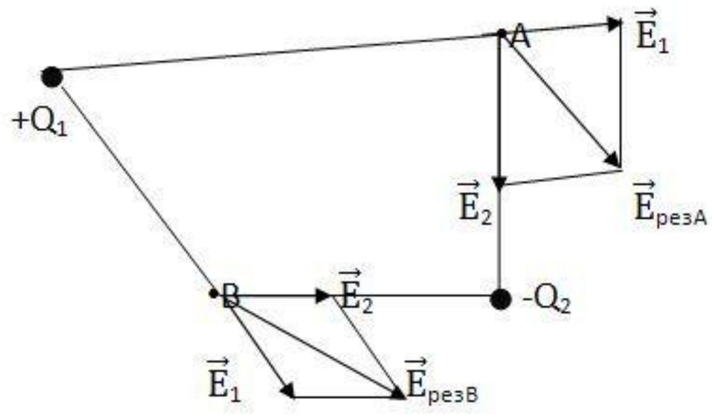


Точка «А». В эту точку мысленно помещен $+q_0$. Заряд $–Q_1$ притягивает к себе пробный заряд, следовательно и сила, и напряженность E_1 направлены вправо, а заряд $+Q_2$ отталкивает пробный заряд, поэтому и сила, и напряженность E_2 направлены влево. Поскольку заряд $+Q_2$ находится от точки А дальше, то модуль E_2 меньше модуля E_1 и результирующая напряженность направлена вправо.

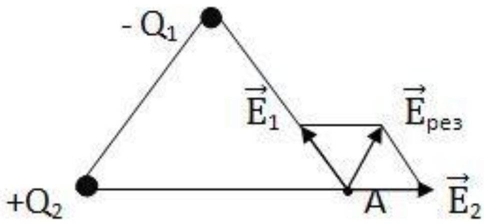
Точка «В». Заряд $–Q_1$ притягивает к себе мысленно помещенный туда $+q_0$ и E_1 направлена в этой точке влево. Заряд $+Q_2$ отталкивает $+q_0$, поэтому E_2 направлена также влево. Две напряженности направлены в одну сторону и длина вектора результирующей напряженности равна сумме длин векторов E_1 и E_2.

2. *Точки и заряды разбросаны*

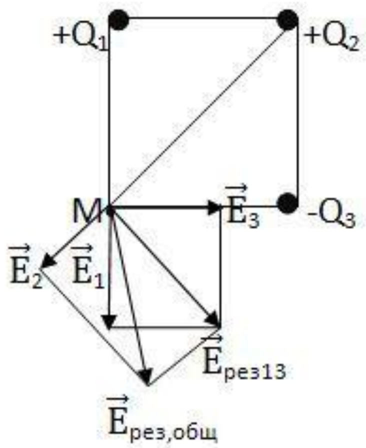
2.1.



2.2.



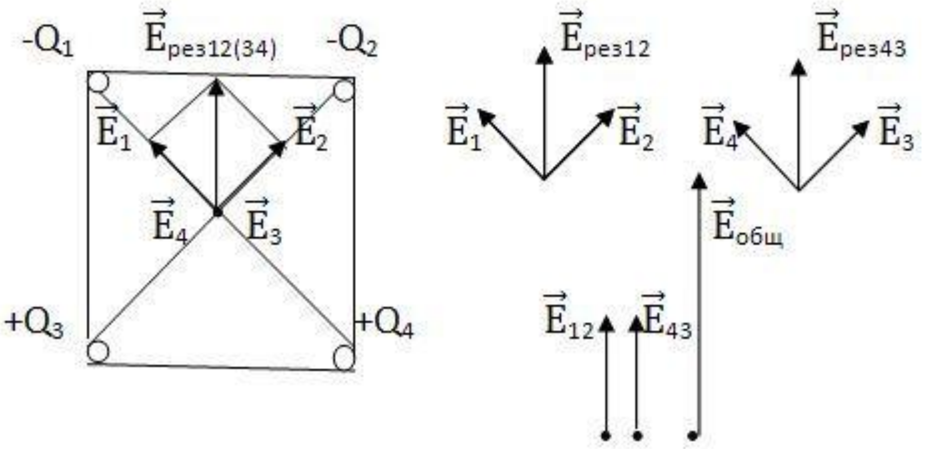
2.3.



Для получения результирующей напряженности в ситуации 2.3. были произведены поочередно две операции сложения. Первоначально получена результирующая E_{13}, затем на этом векторе и векторе E_2 строился новый параллелограмм и находилась его диагональ, которая и является окончательным вектором построения и общей результирующей.

2.4.

Для нахождения общей результирующей случая 2.4. выполнялся алгоритм нахождения направления вектора E для поля каждого заряда и поочередно выполненено три операции геометрического сложения. Первоначально строился параллелограмм на векторах E_1 и E_2, получена их результирующая $E_{рез12}$. Вторая операция сложения производилась с векторами E_4 и E_3 по нахождению результирующей E_{43}. Поскольку вектора E_1 и E_4, как и вектора E_2 и E_3, равны по модулю и сонаправлены и



по построению совпадают, то для наглядности эти операции сложения вынесены отдельно. Третья операция геометрического сложения производилась с векторами $E_{рез12}$ и $E_{рез34}$. Общая результирующая напряженность всех 4-х зарядов сонаправлена с промежуточными результирующими и равна их удвоенному модулю.

Сама техника решения задач по определению модуля отдельной или результирующей напряженности, как и величин, входящих в формулы расчета напряженности, сводится к моделям различных ситуаций задач по нахождению результирующей силы с использованием динамического подхода.

Однако, помимо задач, решаемых с помощью динамического подхода, имеются задачи-упражнения, где применяются различные формулы расчета напряженности.Поэтому подборка задач начинается с простых задач, где необходимо учитывать не только определительную формулу расчета $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$, но и другую формулу: $E = k\frac{q}{r^2}$. Эта формула применяется в том случае, когда необходимо найти E в какой-либо точке поля, находящегося на некотором расстоянии от заряда, «создающего» поле.

Задача

Напряженность поля точечного заряда на расстоянии 10 см от него равна 200 в/м. Определить напряженность поля на расстоянии $r_2 = 20$ см от заряда.

Дано:	$E_2 = k\frac{q}{r_2^2}$ q -?
r_1=10 см=0,1 м	$E_1 = k\frac{q}{r_1^2}$ $q = \frac{E_1 \cdot r_1^2}{k}$
r_2=20 см=0,2 м	$E_2 = k\frac{\frac{E_1 r_1^2}{k}}{r_2^2} = \frac{E_1 r_1^2}{r_2^2} = 50$ (в/м)
E=200 в/м	E_2 = 50в/м
E_2 - ?	

Задача

На каком расстоянии от точечного заряда 10 нКл, находящегося в воде (ε=81), напряженность электрического поля равна 0,25 в/м?

Дано:	
q=10 нКл=10$\cdot 10^{-9}$ Кл	$E = k\frac{q}{\varepsilon r^2}$ $\varepsilon E r^2 = kq$
E = 0,25 в/м.	
ε = 81	$r^2 = \frac{kq}{\varepsilon E}$ $r = \sqrt[2]{\frac{kq}{\varepsilon E}} = \sqrt[2]{\frac{9*10^9 10*10^{-9}}{81*0,25}}$=2,1 (м)
r - ?	

В следующих задачах результирующее электрическое поле создается несколькими зарядами (от двух до четырех).

Задача

Найдите напряженность поля в точке, находящейся посредине на прямой линии, соединяющей точечные заряды q_1 = -3нКл и q_2 = 2нКл. Расстояние между зарядами равно 30 см.

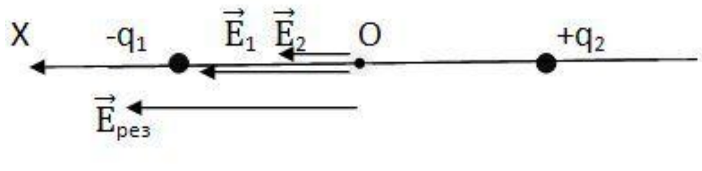
Дано:

q_1 = 3 нКл=3 $\cdot 10^{-9}$ Кл

q_2=2 нКл=2 $\cdot 10^{-9}$ Кл

r=30 см=0,3 м

$E_{рез}$- ?



Для нахождения направления $E_{рез}$ используем соответсвующий алгоритм. Напряженности направлены в одну сторону и геометрическое сложение сводится к алгебраическому, что подтверждается и алгоритмом динамического подхода: $\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ Проецируем вектора на ОХ :

$E_{рез} = E_1 + E_2$

$E_{рез} = k\frac{q_1}{r_1^2} + k\frac{q_2}{r_2^2}$ $r_1 = r_2 = 1/2r$ $E_{рез} = \frac{4kq_1}{r^2} + \frac{4kq_2}{r^2} = \frac{4k}{r^2}(q_1+q_2)$

$E_{рез} = \frac{4*9*10^9}{0,3^2}(3*10^{-9} + 2*10^{-9}) = \frac{4*9*10^9}{0,3^2}*10^{-9}(3+2) = 2000 = 2*10^3$ В/м

$E_{рез}$ = 2 кВ/м

Задача

Точечный отрицательный заряд создает на расстоянии 10 см поле, напряженность которого 1В/м. Если этот заряд внести во внешнее однородное электрическое поле напряженностью 1В/м, то чему будет равна напряженность электрического поля на расстоянии 10 см от заряда по направлению силовой линии однородного поля, проходящей через заряд.

Дано: СИ

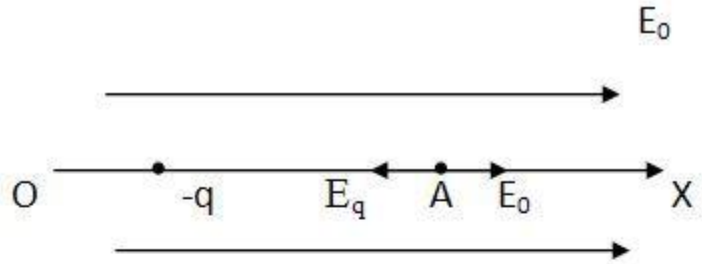
r_1 = 10 см=0,1 м

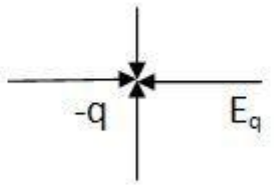
r_2 =10 см=0,1 м

E_0 =1 В/м

E_1 =1 В/м

$E_{рез}$- ?





Второй рисунок дан как поясняющий рисунок, показывающий,что силовые линии входят в отрицательный заряд. На расстоянии 10 см от заряда в точке А линии E_q направлены влево, а линии внешнего поля вправо. В точке А накладываются два противоположно направленных поля с одинаковыми напряженностями по условию задачи. Общая напряженность равна нулю,что подтверждается и динамическим подходом:

$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_q + \vec{E}_0$ Проецируем вектора на ОХ :

$E_{рез} = -E_q + E_0 = 0$ $E_q = E_0$ (по модулю)

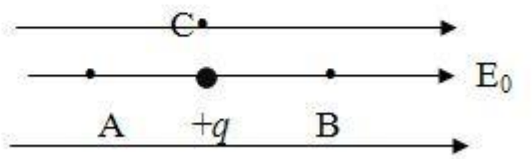
$E_{рез} = 0$

Задача

Определите напряженность электрического поля в точках А, В, С , находящихся на расстоянии 3 см от точечного заряда в 2нКл. Заряд находится во внешнем электрическом поле с напряженность E_0 =1кВ/м.

Дано:
r = 3 см=0,3 м
q = 0,2 нКл=0,2$\cdot 10^{-9}$ Кл
E_0 = 1кВ/м=1$\cdot 10^3$ В/м

$E_{рез}$ -?



1. *Точка А*

Задача аналогична предыдущей. Отличие заключается в том, что во внешнее поле помещается не отрицательный, а положительный заряд. Учтем, что из положительного заряда силовые линии выходят, поэтому в точке А линии Е заряда +q направлены влево, а силовые линии основного поля вправо:

$$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_0 + \vec{E}_q$$

$$E_{рез} = E_0 - E_q = 1 * 10^3 - 9 * 10^9 \frac{0{,}2*10^{-9}}{0{,}0009} = 1* 10^3 - 2* 10^3 = 10^3 * (1 - 2) = -1* 10^3 \text{ (В/м)}$$

Знак « минус» указывает, что результирующая напряженность направлена влево, т.е. против основного поля.

2. *Точка В*

В точке «В» накладываются два поля, напряженности которых направлены в одну сторону (вправо):

$$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_0 + \vec{E}_q$$

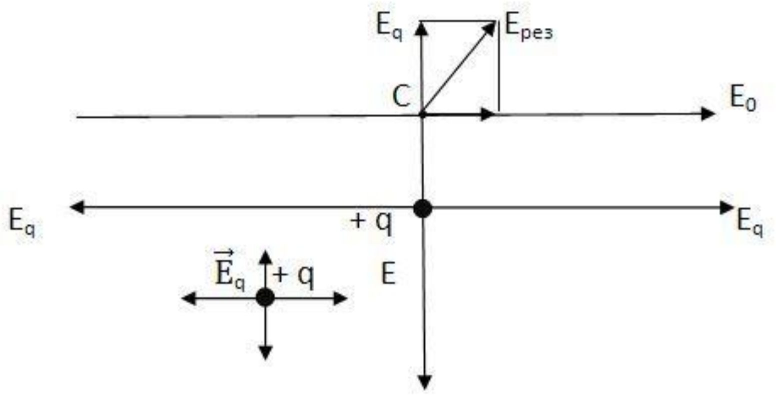
$$E_{рез} = E_0 + E_q = E_0 + k\frac{q}{r^2} = 1* 10^3 + 9* 10^9 \frac{0{,}2*10^{-9}}{0{,}0009} =$$

$$= 1* 10^3 + 2* 10^3 = 3 *10^3 \text{ (В/м)}$$

$E_{рез}$ = 3 кВ/м

3. *Точка С*

В этой точке накладываются два поля, напряженности которых направлены под прямым углом друг к другу. Результирующая находится



по теореме Пифагора.

$E_{рез} = \sqrt[2]{E_q^{2+}E_0^2}$, $E_q = 2* 10^3$ В/м из предыдущих расчетов.

$E_{рез} = 10^3 * \sqrt[2]{4+1} = 10^3 * \sqrt[2]{5} = 2{,}24 * 10^3$ (В/м)

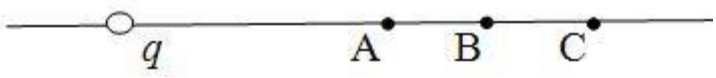
$E_{рез} = 2{,}24 * 10^3$ В/м

Задача

В точке А напряженность поля точечного заряда 36 В/м, а в точке С напряженность 9 В/м. Найдите напряженность в точке В, лежащей посредине между точками А и С.

Дано:
$E_А$ = 36 В/м
$E_С$ =9 В/м

$E_В$ -?



Поле в точке В создается одним зарядом, поэтому принцип суперпозиции не используется. Поскольку дается расстояние до точки, в которой требуется определить напряженность, то необходимо использовать другую формулу расчета напряженности:

$$E_В = k\frac{q}{r_B^2}$$

В этой задаче не известно расстояние $r_В$, но оговаривается, что оно равно половине расстояния между точками А и С. Следовательно, необходимо найти $r_А$ и $r_С$.

$E_А = k\frac{q}{r_A^2}$ $\qquad$ $r_А = \sqrt[2]{\frac{kq}{E_A}}$ $\qquad$ Аналогично: $r_С = \sqrt[2]{\frac{kq}{E_c}}$

$$r_B = \frac{r_A + r_C}{2} = \frac{1}{2}\sqrt{kq} \cdot \frac{\sqrt{E_C} - \sqrt{E_A}}{\sqrt{E_A\ E_C}}\ ,\ {r_B}^2 = \frac{1}{4} \cdot kq \cdot \frac{\left(\sqrt{E_C} + \sqrt{E_A}\right)^2}{E_A\ E_C},$$

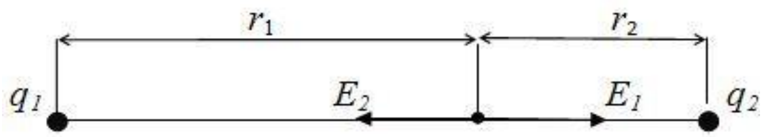
$$E_В = k\frac{q}{r_B^2} = \frac{4\,E_A\,E_C}{\left(\sqrt{E_c} + \sqrt{E_A}\right)^2} = \frac{4 \cdot 36 \cdot 9}{81} = 16 \text{ (В/м)}$$

Задача

Электрическое поле создается двумя положительными точечными зарядами $q_1 = 9* 10^{-9}$ Кл и $q_2 = 4* 10^{-9}$Кл. Чему равно расстояние между этими зарядами, если известно, что точка, где напряженность электрического поля равна нулю, находится на расстоянии 33 см от первого заряда.

Дано:
$q_1 = 9 * 10^{-9}$ Кл
$q_2 = 4 * 10^{-9}$ Кл
$r_1 = 0{,}33$ м
$E_{рез} = 0$

r -?



$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$, $E_{рез} = E_1 - E_2$, $0 = E_1 - E_2$

$E_1 = E_2$

$\frac{q_1}{r_1^2} = \frac{q_2}{r_2^2}$ $\frac{q_1}{q_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$, $\frac{\sqrt[2]{q_1}}{\sqrt[2]{q_2}} = \frac{r_1}{r_2}$, $\sqrt[2]{\frac{9*10^{-9}}{4*10^{-9}}} = \frac{r_1}{r_2}$

$\frac{3}{2} = \frac{r_1}{r_2}$; $3r_2 = 2r_1$ $r_2 = r - r_1$ $3(r - r_1) = 2r_1$; $3r - 3r_1 = 2r_1$

Решая уравнение, получаем $r = \frac{5}{3} r_1$

$r = \frac{5}{3} 0{,}33 = 0{,}55$(м) = 55 (см).

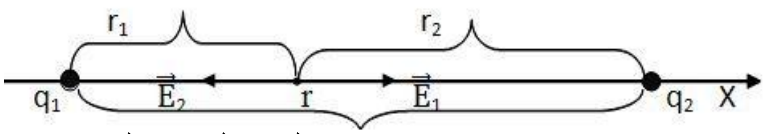
$r =$ 55 см

Задача

Между зарядами q и 9q расстояние равно 8 см. На каком расстоянии от первого заряда находится точка, в которой напряженность поля равна нулю.

Дано:
$q_1 = q$
$q_2 = 9q$
r = 8см=0,08м
$E_{рез} = 0$

r_1 - ?



$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

$E_{рез} = E_1 - E_2$

$0 = E_1 - E_2$ $E_1 = E_2$

$k\frac{q_1}{r_1^2} = k\frac{q_2}{r_2^2}$ $k\frac{q}{r_1^2} = k\frac{9q}{r_2^2}$ $\frac{1}{r_1^2} = \frac{9}{r_2^2}$

$\sqrt[2]{\frac{1}{r_1^2}} = \sqrt[2]{\frac{9}{r_2^2}}$ $\frac{1}{r_1} = \frac{3}{r_2}$ $3r_1 = r_2$ $r_2 = r - r_1$

$3r_1 = r - r_1$ $4r_1 = r$ $r_1 = \frac{r}{4} = \frac{0{,}08}{4} = 0{,}2$ (м).

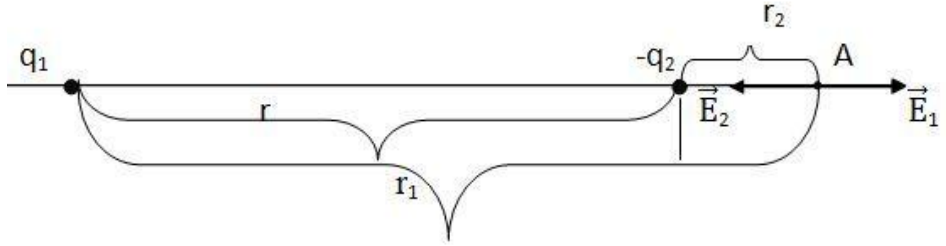
$r_1 = 0{,}2$ м

Задача

Электричесое поле создается двумя положительными точечными зарядами q_1 = 8Нкл и q_2 = - 6 нКл Расстояние между зарядами равно 10 см. Определить, на каком расстоянии от заряда q_1 напряженность электрического поля равна нулю.

Дано:
q_1 = 8 нКл=8∗ 10^{-9}Кл
q_2 =-6 нКл=6∗ 10^{-9}Кл
r = 10 см=0,10 м.
r_1 =?

Прежде всего необходимо определить положение искомой точки, где она будет находится: между зарядами, левее q_1 или правее q_2. Используя алгоритм нахождения направления напряженности, определяем, что между зарядами напряженности будут направлены в одну сторону. Это положение отпадает,т.к. чтобы $E_{рез}$ равнялось нулю, необходимо, чтобы напряженности были направлены в разные стороны. Учтем, что для равновесия зарядов искомая точка должна находится дальше от большего заряда. Остается только одно положение – правее q_2.



$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ $\quad$ $E_{рез} = E_1 - E_2$ $\quad$ $E_{рез} = 0$ $\quad$ $E_1 = E_2$

$k\frac{q_1}{r_1^2} = k\frac{q_2}{r_2^2}$ $\quad$ $\frac{q_1}{r_1^2} = \frac{q_2}{r_2^2}$ $\quad$ $\frac{q_1}{q_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$ $\quad$ $\sqrt[2]{\frac{q_1}{q_2}} = \frac{r_1}{r_2}$

$\sqrt[2]{\frac{8*10^{-9}}{6*10^{-9}}} = \frac{r_1}{r_2}$ $\quad$ $1{,}55 = \frac{r_1}{r_2}$ $\quad$ $1{,}55\, r_2 = r_1$,

с другой стороны по рисунку видно, что

$r_1 = r + r_2$. $\quad$ $r_2 = r_1 - r$ $\quad$ $1{,}55\,(r_1 - r) = r_1$

Подставив численное значение r = 0,1 м и решая уравнение, получаем r_1 = 0,745 (м)

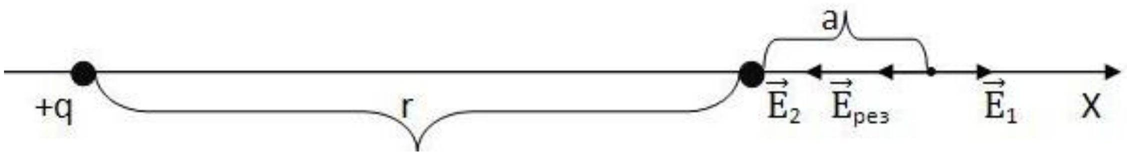
Задача

Диполь образован двумя зарядами $q_1 = 3{,}2*10^{-19}$Кл, находящимися на расстоянии r = 10^{-9}м друг от друга. Найти напряженность поля,созданного диполем в точке А, находящейся на расстоянии a = $2{,}5*10^{-10}$ м от отрицательного заряда (вне диполя на его оси).

Дано:
$q_1 = +\,3{,}2 \cdot 10^{-19}$Кл
$q_2 = -3{,}2 \cdot 10^{-19}$ Кл
a =$2{,}5 \cdot 10^{-10}$м.
r = 10^{-9}м.
$E_{рез}$ - ?

Диполь по определению представляет собой систему двух зарядов, разных по знаку, но одинаковых по модулю. Задача сводится к определению $E_{рез}$, т.к. поле в точке А создается двумя зарядами. Следовательно, необходимо использовать принцип суперпозиции.

Построение чертежа и все рассуждения по определению направления E_1 и E_2 аналогичны предыдущей задаче. Однако имеются и отличия. В этом случае, поскольку модули зарядов одинаковы, $E_{рез}$ равняться нулю не будет.



$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ $\qquad$ $-E_{рез} = E_1 - E_2$ (-1) $\qquad$ $E_{рез} = E_2 - E_1$

$E_{рез} = k\frac{q_2}{a^2} - k\frac{q_1}{(r+a)^2}$ $\qquad$ $E_{рез} = kq\left\{\frac{1}{a^2} - \frac{1}{(\square+\square)^2}\right\}$

$E_{рез} = 9 * 10^9 * 3{,}2 * 10^{-19}\left\{\frac{1}{(2{,}5*10^{-10})^2} - \frac{1}{(10^{-9} + 2{,}5*10^{-10})^2}\right\}$

$E_{рез} = 28{,}8 * 10^{-10}\left\{\frac{1}{(2{,}5*10^{-10})^2} - \frac{1}{(2{,}6*10^{-10})^2}\right\}$

$E_{рез} = 28{,}8 * 10^{-10}\left\{\frac{1}{(6{,}25*10^{-20})} - \frac{1}{(6{,}76*10^{-20})}\right\} = \frac{28{,}8*10^{-10}}{10^{-20}}\left\{\frac{1}{6{,}25} - \frac{1}{6{,}76}\right\}$

$E_{рез} = 28{,}8 * 10^{10}\{0{,}16 - 0{,}15\} = 28{,}8 * 10^{10} * 0{,}1 = 2{,}88 * 10^{10}$ (Н/Кл)

$E_{рез} = 28{,}8 * 10^{10}$ Н/Кл

Задача

Два заряда по $1 * 10^{-8}$Кл находятся в воздухе на расстоянии 8 см. друг от друга. Найдите напряженность поля на расстоянии 5 см. от обоих зарядов.

Дано:

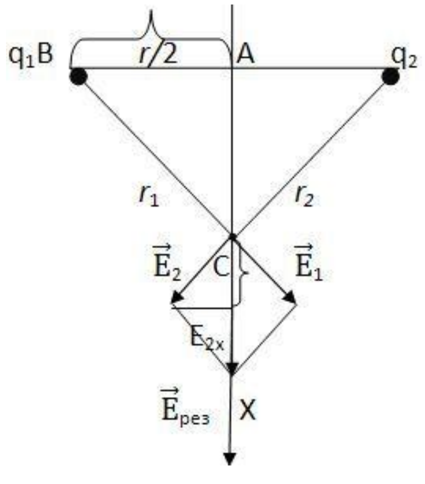
$q_1 = 1 * 10^{-8}$Кл

$q_2 = 1 * 10^{-8}$Кл

$r = 0{,}08$ м

$r_1 = r_2 = 0{,}05$ м

$E_{рез}$ - ?



Задача полностью аналогична задаче по определению $F_{рез}$. Отличие заключается в поиске не результирующей силы, а результирующей напряженности и использовании не закона Кулона для определения каждой из сил, а формул расчета $E = k\frac{q}{r^2}$. . $E_{рез} = 2E_{2x}$, E_{2x} - ? Используем подобие линейного треугольника АВС и треугольника напряженностей:

$\frac{E_{2x}}{E_2} = \frac{AC}{BC}$ AC = 3см Треугольник ABC египетский, в котором BC = 5см, *а* AB = 4см. В этом случае 3-я сторона равна 3см.

$\frac{E_{2x}}{E_2} = \frac{0,03}{0,05}$; $E_{2x} = E_2 * 0,6$

$E_2 = k\frac{q_2}{r_2^2}$; $E_{2x} = 0,6\frac{9*10^9*1*10^{-8}}{0,05^2} =$ 0,0216(Н/Кл)

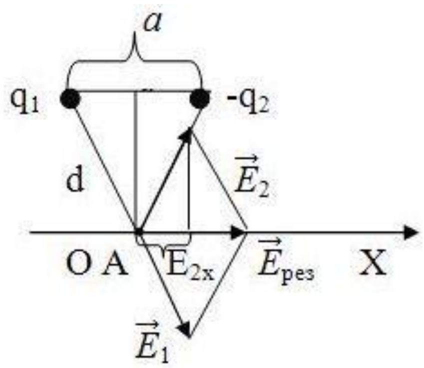
$E_{рез} = 2\ E_{2x} = 2 * 0,0216 = 4,32$ (Н/Кл)
$E_{рез} = 4,32$Н/Кл

Задача

Два одинаковых по величине и противоположных по знаку заряда q помещены на расстоянии «*a*» друг от друга. Найти величину напряженности поля в точке, равноудаленной от каждого заряда на расстоянии *d*.

Дано:
$q_1 = q_2 = q$
a
d

$E_{рез}$ - ?



Задача полностью аналогична предыдущей. Результирующее поле получено путем суперпозиции двух полей: поля заряда q_1 и поля заряда q_2.

$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

Математическое решение задачи вытекает из того, что $E_{рез} = 2\ E_{1x} = 2\ E_{2x}$. Для опрделения E_{2x} воспользуемсяподобием треугольников

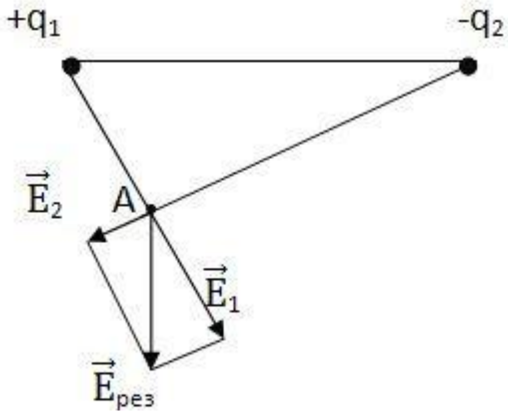
$\frac{E2x}{\frac{a}{2}} = \frac{E_2}{d}$ $\frac{2E_{2x}}{a} = \frac{E_2}{d}$ $2\ E_{2x} = \frac{aE_2}{d}$

$E_{рез} = 2\ E_{2x} = \frac{akq}{d^3}$ $E_{рез} = \frac{akq}{d^3}$

Задача

Расстояние между зарядами $q_1 = +2 * 10^{-9}$Кл и $q_2 = -2 * 10^{-9}$Кл равно 10 см. Определите напряженность поля, созданного диполем в точке А , находящейся на расстоянии 6см от положительного заряда и 8см от отрицательного.

Дано:
$q_1 = +2 * 10^{-9}$Кл
$q_2 = -2 * 10^{-9}$Кл
$r_1 = 0{,}06$
$r_2 = 0{,}08$м
$r = 0{,}1$м
$E_{рез}$ - ?



Напряженность результирующего поля определяется с помощью принципа суперпозиции: $\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

Однако в этом случае имеется дополнительная подсказка. Решение задачи упрощается, если учесть данные расстояния: 10см, 8см и 6см. Если все расстояния уменьшить в 2 раза, то получим египетский треугольник со сторонами 5см, 4см и 3см. Отсюда следует, что треугольник напряженностей является прямоугольным и для расчета $E_{рез}$ возможно воспользоваться теоремой Пифагора:

$$E_{рез}^2 = E_1^2 + E_2^2$$

$$E_{рез}^2 = \left(\frac{kq_1}{r_1^2}\right)^2 + \left(\frac{kq_2}{r_2^2}\right)^2 = k^2q^2\left(\frac{1}{r_1^4} + \frac{1}{r_2^4}\right.$$

$$E_{рез}^2 = 81 * 10^{18} * 4 * 10^{-18}\left(\frac{1}{0{,}06^4} + \frac{1}{0{,}08^4}\right)$$

$E_{рез}^2 = 32{,}910 * 10^6$ $\qquad$ $E_{рез} = \sqrt[2]{32{,}910 * 10^6} \approx 5{,}74 * 10^3$(Н/м).

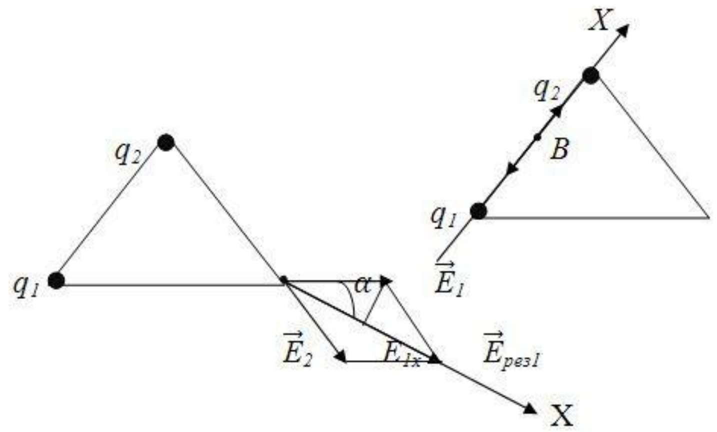
$E_{рез} = 5{,}74 * 10^3$ Н/м

Задача

В двух вершинах равностороннего треугольника со стороной а = 0,5м расположены два положительных заряда по 10^{-6} Кл. Найти напряженность электрического поля в третьей вершине треугольника, а также посредине между зарядами (точка В).

Дано:
$q_1 = q_2 = 10^{-6}$ Кл
$a = 0{,}5$м

$E_{рез2}$-?



В искомой точке (третьей вершине треугольника) напряженность результирующего поля создается путем наложения полей двух зарядов. Согласно принципу суперпозиции: $\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

Для математического оформления решения задачи можно использовать два способа а) теорему косинусов, в) способ, использованный при решении аналогичной задачи на нахождение результирующей силы.

$E_{рез} = E_1 + E_2$ $\quad\quad$ $E_{рез} = 2\, E_{1x}$

В треугольнике напряженностей угол α = ½ 60° - угла равностороннего треугольника. Соответственно:

$\cos\alpha = \frac{E_{1x}}{E_1}$ $\quad\quad$ $E_{1x} = E_1 \cos\alpha$ $\quad\quad$ $E_{рез} = 2\, E_1 \cos\alpha$

$E_{рез} = 2k\frac{q_1}{a^2} * \cos\alpha$ $\quad\quad$ $E_{рез} = 2 * 9 * 10^9 \frac{10^{-6}}{0{,}5^2} \cos 30° \approx 62 * 10^3$(В/м)

Для нахождения $E_{рез2}$ в точке «В» учтем, что она находится посредине между зарядами. Поскольку $E_1 = E_2$ по модулю, но противоположны по направлению, то в данной точке результирующая равна 0:

$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ $\quad\quad$ $E_{рез} = E_1 - E_2 = 0$ $\quad\quad$ т.к ($E_1 = E_2$)

$E_{резA} \approx 62 * 10^3$В/м $\quad$ $E_{резB} = 0$

Задача

В двух вершинах равностороннего треугольника со стороной 30см. расположены одинаковые по модулю, но разные по знаку точечные заряды по 0,3 нКл каждый. Определите напряженность электрического поля в третьей вершине.

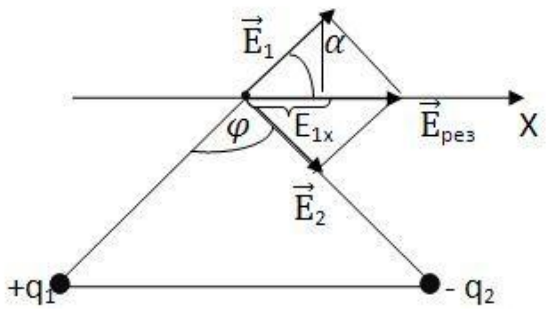
Дано:

a = 30 см=0,3м

q_1 =0,3 нКл=0,3 · 10^{-9} Кл

q_2 = -0,3 нКл=-0,3· 10^{-9}Кл

$E_{рез}$ - ?



Задачная ситуация рассматриваемого случая отличается от предыдущих задач только направлениями E_1,E_2 и $E_{рез}$. Сама же модель задачи и принцип её решения тождественны и совпадают с ранее подробно разобранными случаями.Сложность состоит в определении углов в треугольнике напряженностей: угол α =1/2(180° - φ). Угол φ = 60° ,как угол равностороннего треугольника, поэтому угол α =1/2 (180 - 60°) = 60°. Таким образом, задача полностью сводится к предыдущей: $E_{рез} = 2\ E_{1x}$

$E_{1x} = E_1 \cos\alpha$ $\qquad$ $E_{рез} = 2\ E_1 \cos\alpha$ $\qquad$ $E_{рез} = 2k\frac{q_1}{a^2} * \cos\alpha$

$$E_{рез} = 2 * 9 * 10^9\ \frac{0{,}3*10^{-9}}{0{,}3^2} * 0{,}5 = 30\ (В/м)$$

$E_{рез}$ = 30 В/м

Следующий вид задач отличается от ранее рассмотренных тем, что рассматривается система не двух, а трёх или четырех зарядов, но принцип решения при этом совершенно не меняется.

Задача

Три заряда по $1*10^{-8}$Кл каждый размещены в вершинах равностороннего треугольника, сторона которого 1 см. Найти напряженность в каждой вершине треугольника.

Дано:

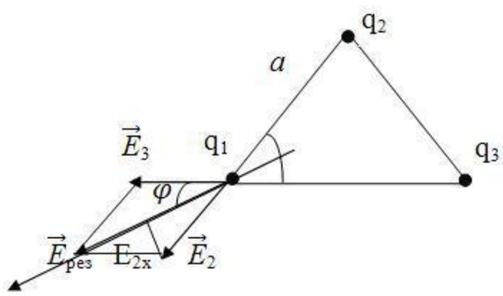
$q_1=q_2=q_3=q=1\cdot10^{-8}$ Кл

a = 0,01м.

$E_{рез1}$ - ?

$E_{рез2}$ - ?

$E_{рез3}$ - ?



Принципиальных отличий в решении задачи нет. Сложность заключается в заувалированном требовании задачи. Если учесть, что напряженность поля в каждой вершине создается путем наложения полей двух других зарядов, то рассматриваемая задача полностью сводится к предыдущим задачам.

$E_{рез1} = 2\,E_{2x} = 2\,E_{3x}$ $\qquad\qquad\qquad$ $E_{2x} = E_2\cos\varphi = E_2\cos 30°$

$E_{рез} = 2k\frac{q_2}{a^2}\cos 30° = 2 * 9 * 10^9\,\frac{10^{-8}}{0{,}0001} * 0{,}866 \approx 1{,}6*10^6$(В/м)

$E_{рез1} = E_{рез2} = E_{рез3} \approx 1{,}6 * 10^6$(В/м)

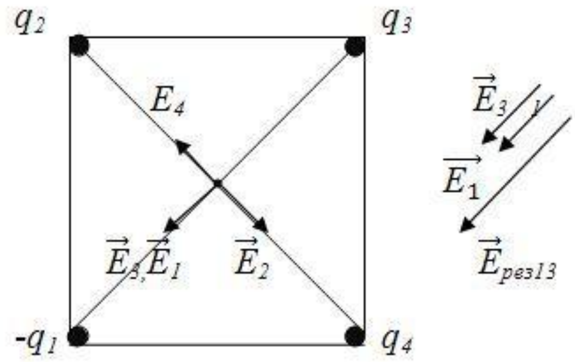
$E_{рез1} = E_{рез2} = E_{рез3} \approx 1{,}6 * 10^6$В/м

Задача

В вершинах квадрата со стороной 10 см расположены заряды q_1 = -1нКл $q_2 = q_3 = q_4$ = 1нКл. Определите напряженность поля в центре квадрата.

Дано:
a=10см=0,1 м
q_1=-1 нКл=$-1*10^{-9}$ Кл
$q_2 = q_3 = q_4$=1 нКл=$1\cdot10^{-9}$Кл

$E_{рез}$ - ?



Принцип решения сводится к использованию принципа суперпозиции

$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4$

Последовательность действий включает поочередное нахождение $E_{рез24}$ и $E_{рез13}$ и затем их общей результирующей. $E_{рез24}$ равняется нулю, поскольку напряженности E_1 и E_4 равны по модулю и направлены в разные стороны. Соответственно, результирующая напряженность в центре квадрата будет равна $E_{рез13}$. $E_{рез13}$ находится как алгебраическая сумма E_1 и E_3, т.к. вектора этих напряженностей направлены в одну и ту же сторону:

$E_{рез13} = E_1 + E_3$ $\qquad\qquad$ $E_{рез13} = k\frac{q_1}{r^2} + k\frac{q_3}{r^2} = kq\,(\frac{1}{r^2} + \frac{1}{r^2}) = \frac{2kq}{r^2}$

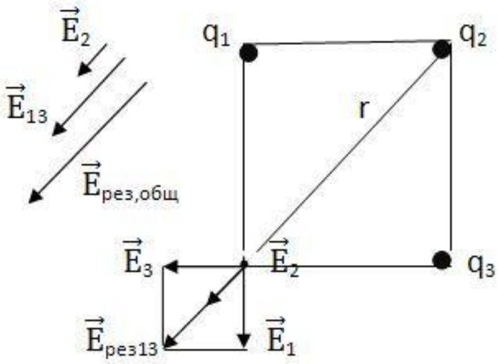
$r = \frac{\sqrt{2}}{2}\cdot a \qquad r^2 = \frac{1}{2}\cdot a^2$ $\qquad\qquad$ $E_{рез13} = \frac{4kq}{a^2} = \frac{4*9*10^9}{0{,}1^2} * \ 1*10^{-9} = 3600$ (Н/Кл)

$E_{рез} = 3{,}6\cdot10^3$ Н/Кл

Задача

В трех вершинах квадрата со стороной 40 см находятся одинаковые положительные заряды по 5 нКл каждый. Найти напряженность поля в четвертой вершине.

Дано:
a =40 см=0,4 м
q $=q_2$ $= q_3$ = 5 нКл=5 $\cdot 10^{-9}$Кл
$E_{рез}$ - ?



$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$

Решение задачи сводится к первоначальному нахождению $E_{рез13}$, а затем к нахождению алгебраической суммы $E_{рез13}$ и E_2, т.к. они направлены в одну и ту же сторону. Порядок действий повторяет действия по нахождению результирующей силы.

$$E_{рез13} = \sqrt[2]{E_1^2 + E_3^2} = \sqrt[2]{\frac{(kq_1)^2}{a^2} + \frac{(kq_3)^2}{a^2}} = \sqrt[2]{\frac{2 * k^2 q^2}{a^4}} = \frac{kq}{a^2}\sqrt[2]{2}$$

$$E_2 = k\frac{q_2}{r^2} = k\frac{q_2}{2a^2} \qquad E_{рез} = E_2 + E_{рез13} = k\frac{q_2}{2a^2} + \frac{kq}{a^2}\sqrt[2]{2} = kq\left(\frac{2\sqrt{2}+1}{2a^2}\right)$$

$E_{рез}$=537 Н/Кл

4.2. Равновесное состояние заряженного тела или системы тел

4.2.1. Равновесие системы зарядов

Задачи на равновесие системы электрических зарядов решаются на основе 1-го закона Ньютона, поскольку именно он оговаривает условие покоя или равномерного прямолинейного движения. Для равновесия любого тела, в том числе и заряженного, необходимо, чтобы $\vec{E}_{рез}$ = 0, т.е.чтобы геометрическая сумма сил, действующих на тело, была равна нулю.

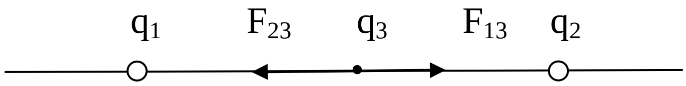
Данное условие можно записывать и в скалярной форме более кратко: алгебраическая сумма сил, действующих на заряженное тело в одну сторону, равна алгебраической сумме сил, действующих на заряженное тело в другую сторону.

Задача

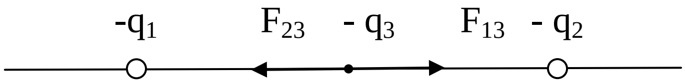
В средней точке между двумя закрепленными одинаковыми зарядами помещен такой же третий заряд. Будет ли он в равновесии? Если да, то в каком: устойчивом или неустойчивом?

По условию данной задачи могут быть 2 ситуации:

1 –я ситуация: заряды положительны:



2 – я ситуация: заряды отрицательны:

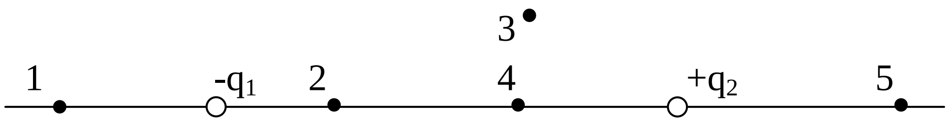


В любом случае объектом исследования является заряд q_3, поэтому точки приложения сил со стороны зарядов q_1 и q_2 будут находиться на заряде q_3. Поскольку заряды одноименные, то они будут отталкиваться и, соответственно, силы F_{23} и F_{13} направлены в разные стороны. Модули сил одинаковы, т.к. расстояния между зарядами также одинаковы.

Для определения характера устойчивости необходимо иметь в виду, что, если заряды, к которым помещается новый заряд, закреплены, то равновесие будет устойчивым. Если заряды не закреплены - неустойчивым. В этом случае достаточно одному из зарядов сдвинуться, как все заряды придут в движение и система разрушиться. Вообще невозможно создать устойчивую равновесную конфигурацию из незакрепленных неподвижных зарядов. По условию задачи заряды закреплены, следовательно равновесие устойчивое.

Задача

Два разноименных заряда $-q_1$ и $+q_2$ располагаются на некотором расстоянии друг от друга. В какую точку надо поместить третий отрицательный заряд, чтобы он находился в равновесии? Рассмотреть ситуации, когда a)$q_1 > q_2$; b) $q_1 < q_2$; d) $q_1 = q_2$



Случай *«а»*

Условием равновесия заряда $-q_3$ является не только равенство сил F_{13} и F_{23}, но и их разнонаправленность. Для этого необходимо определить направления этих сил во всех указанных точках. Точка 3 отпадает, т.к. в этой точке силы направлены под углом друг к другу, т.е. в этой точке равнодействующая не равна нулю. Точки 2 и 4 отпадают: в них силы направлены в одну и ту же сторону. Остаются ситуации 1 и 5. В этих ситуациях необходимо учитывать тот факт, что для равенства сил F_{13} и F_{23} заряд $-q_3$

должен находиться от большего заряда -q_1 на большем расстоянии. Следовательно, остается точка 5.

Случай «b»

Все рассуждения и построения аналогичны. Выбор будет происходить между случаями 1 и 5. В данном случае большим является + q_2, поэтому заряд -q_3 должен находится от него на большем расстоянии. Следовательно, остается точка 1.

Случай «d»

Такой точки нет. Поскольку заряды по модулю одинаковы, то сила со стороны любого более близкого заряда будет больше, чем со стороны более удаленного. Другими славами, в этой ситуации во всех точках равнодействующая сила не будет равняться нулю и заряд находится в равновесии не будет.

Последующие задачи повторяют рассмотренную и отличаются наличием расчетной части, связанной с применением закона Кулона.

Задача

Два положительных заряженных тела с зарядами 1,67 и 3,3 нКл находятся на расстоянии 20 см. друг от друга. В какой точке прямой, соединяющей эти тела, надо поместить третье тело с зарядом – 0,67 нКл, чтобы оно оказалось в равновесии?

ДАНО:

q_1 = 1,67 нКл=1,67· 10^{-9}Кл

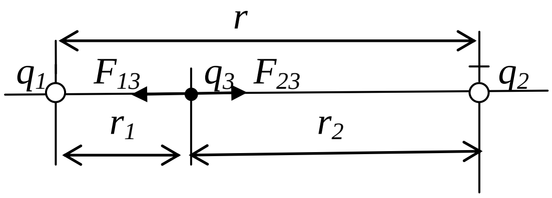
q_2 = 3,3 нКл=3,3· 10^{-9}Кл

q_3 =- 0, 67 нКл=-0,67· 10^{-9}Кл

r= 20 см=0,2м

r_1 - ?

r_2 -?



На третий заряд действуют только две электрические силы: F_{13} и F_{23}. Согласно, 1-му закону Ньютона, тело находится в состоянии равновесия, если сила, действующая в одном направлении, равна по модулю противоположно действующей силе. Эти силы рассчитываются по закону Кулона. Искомая точка должна находиться дальше от большего по модулю заряда q_2. Записываем условие равновесия:

$F_{13} = F_{23}$ $\qquad$ $k\frac{q_1 q_3}{r_1^2} = k\frac{q_2 q_3}{r_2^2}$ $\qquad$ $\frac{q_1}{r_1^2} = \frac{q_2}{r_2^2}$

В задачах данного типа, чтобы избежать решения квадратного уравнения, целесообразно избавляться от квадратов. Для этого можно полученное выражение переписать:

$\frac{q_1}{q_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2};$ $\sqrt[2]{\frac{q_1}{q_2}} = \sqrt[2]{\frac{r_1^2}{r_2^2}}$ $\sqrt[2]{\frac{q_1}{q_2}} = \frac{r_1}{r_2}$ $\sqrt[2]{\frac{1{,}67*10^{-9}}{3{,}3*10^{-9}}} = \frac{r_1}{r_2}$

$0{,}71 = \frac{r_1}{r - r_1}$

$0{,}71(r - r_1) = r_1$ $r_1 \approx 0{,}08$ (м)

Следовательно, заряд q_3 располагается от меньшего заряда q_1 на расстоянии 0,08 м, а от большего второго заряда на расстоянии 0,12м: $r_2 = r - r_1$;

$r_2 = (0{,}2 - 0{,}08) = 0{,}129$(м)

$r_1 \approx 0{,}08$ м $r_2 = 0{,}12$м

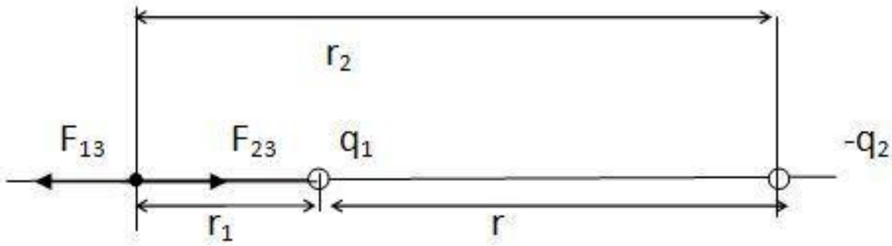
Отметим, что при решении задачи не использовалось численное значение третьего заряда q_3. Это понятно, т.к. при решении задачи в общем виде этот заряд входит и в правую, и в левую части уравнения равновесия и математически сокращается. Поэтому в задачах аналогичного типа, как правило, численное значение третьего заряда q_3 не дается. Таким образом, еще раз подтверждается целесообразность решения задач в общем виде.

Задача

Два электрических заряда $q_1 = q$ и $q_2 = -2q$, расположены друг от друга на расстоянии $r = 6$см. Где необходимо расположить третий заряд, чтобы он находился в равновесии?

Дано:
$q_1 = q$
$q_2 = -2q$
$r = 0{,}06$ м

r_1 - ?
r_2 -?



Первичный анализ показывает, что задача аналогична предыдущей задаче. Отличие связано со знаками зарядов. В первую очередь необходимо определить место расположения третьего заряда. В принципе возможны три ситуации: левее q_1, правее q_2 и между ними. Последний случай отпадает сразу же, т.к. в любом месте между зарядами силы будут направлены в одну сторону и равновесия не будет. Остаются две ситуации: : левее q_1 и правее q_2. При выборе между этими ситуациями необходимо учитывать модули зарядов. От большего по модулю заряда третий заряд должен находиться на большем расстоянии, следовательно, остается случай, когда третий заряд находится левее q_1. Сразу же появляется новое отличие: соотношения между r, r_1 и r_2.

$r_2 = r + r_1$

Записываем условие равновесия заряда, исходя из 1-го закона Ньютона:

$F_{13} = F_{23}$ $k\frac{q_1q_3}{r_1^2} = k\frac{q_2q_3}{r_2^2}$ $\frac{q_1}{r_1^2} = \frac{q_2}{r_2^2}$ $\frac{q_1}{q_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$ $\sqrt[2]{\frac{q_1}{q_2}} = = \frac{r_1}{r_2}$

$\sqrt[2]{\frac{q}{2q}} = \frac{r_1}{r_{1+r}}$ $\sqrt[2]{0,5} = \frac{r_1}{r_{1+r}}$ $\sqrt[2]{0,5}\,(r_1 + r) = r_1$

$r_1 \approx 0,145$(м)

$r_2 = r + r_1$ $r_2 \approx (0,06 + 0,145) \approx 0,21$(м).

$r_1 \approx 0,145$ м $r_2 \approx 0,2$м

Задача

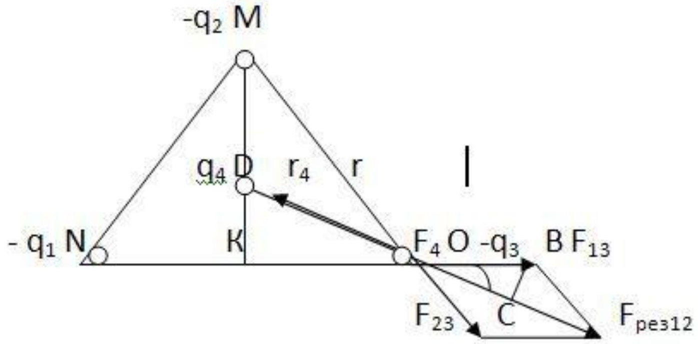
Три одинаковых отрицательных точечных заряда по – 10 мкКл расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд следует поместить в центре треугольника, чтобы вся система находилась в равновесии?

Дано:

$q_1 = q_2 = q_3 = -10$ мкКл=….

$=10 \cdot 10^{-6}$ Кл

q_4 - ?



Вся система зарядов находится в равновесии, поэтому каждый заряд также находится в равновесии. Рассмотрим равновесие заряда q_3. На него действуют силы F_{13}, F_{23} и F_{43}. Их общая равнодействующая равна нулю. При этом сила F_{43} должна уравновесить равнодействующую сил F_{13} и F_{23}, представленную диагональю соответствующего параллелограмма. Поэтому условие равновесия можно записать иначе:

$F_{43} = F_{рез1}$ $F_{43} = k\frac{q_4q_3}{r_4^2}$ $F_{рез12} = 2OC$

$\cos\alpha = \frac{OC}{OB}$ OC =OB $\cos\alpha = F_{13}\cos\alpha$

$F_{13} = k\frac{q_1q_3}{r^2}$ $F_{13} = k\frac{q^2}{r^2}$ $2\,k\frac{q_1q_3}{r^2}\cos\alpha$

$k\frac{q_4 q_3}{r_4^2} = 2k\frac{q_1 q_3}{r^2}\cos\alpha$

$\frac{q_4}{r_4^2} = 2\frac{q_1}{r^2}\cos\alpha$

$q_4 = \frac{2q_1\cos\alpha}{r^2}r_4^2$ В этом выражении неизвестна сторона треугольника r и расстояние r_4.

Расстояние r_4 находим из треугольника KDO. Центр равностороннего треугольника находится на 1/3 от основания треугольника, поэтому KD = 1/3 h. OK = 1/2 r. В свою очередь

$r_4^2 = (\frac{h}{3})^2 + (\frac{r}{2})^2$

$h^2 = r^2 - \frac{r^2}{4}$ из треугольника NMK

$h = \frac{r}{2}\sqrt[2]{3}$ $\quad r_4^2 = \frac{\frac{3r^2}{4}}{9} + \frac{r^2}{4}$ $\quad r_4^2 = \frac{r^2}{3}$ $\quad r = \frac{r}{\sqrt[2]{3}}$

Подставляем в выражение для q_4 и, учитывая, что

$\cos 30° = \frac{\sqrt[2]{3}}{2}$, получаем: $\quad q_4 = \frac{2q_1\cos\alpha}{r^2}r_4^2$ $\quad q_4 = \frac{\sqrt[2]{3}}{3}q$

$q_4 = \frac{\sqrt[2]{3}}{3} * 10 * 10^{-6} = 5{,}77 * 10^{-6}$(Кл)

$q_4 = 5{,}77$ мкКл.

Задача

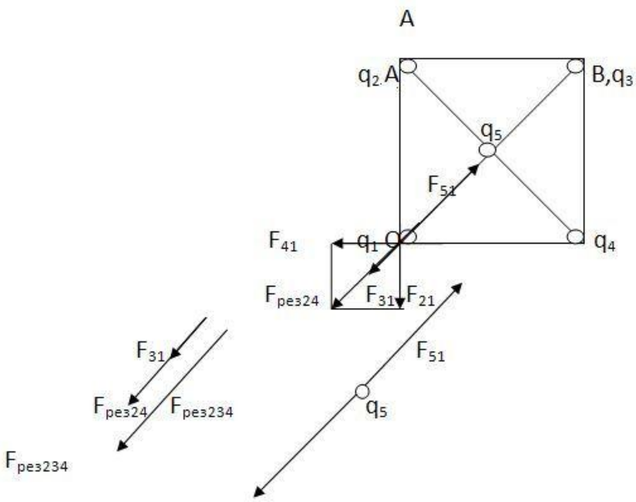
В вершинах квадрата со стороной r помещены заряды по $1{,}0 * 10^{-6}$Кл. Какой отрицательный заряд нужно поместить в точке пересечения диагоналей, чтобы вся система находилась в равновесии?

Дано:

$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 1{,}0 * 10^{-6}$

r

q_5 - ?



Как и в предыдущей задаче, вся система зарядов находится в равновесии, поэтому каждый заряд также находится в равновесии. Рассмотрим равновесие заряда q_1. На него действует 4 заряда: q_2, q_3, q_4 и q_5. Заряд q_1 будет находиться в равновесии, если сила F_{51} компенсирует действие $F_{рез234}$. $F_{рез234}$ получается в результате сложения сил $F_{рез24}$ и F_{31}. Сила $F_{рез24}$ получается путем векторного сложения сил F_{41} и F_{21}, являясь диагональю параллелограмма, построенного на этих силах как на сторонах.

Запишем условие равновесия:

$F_{51} = F_{рез24} + F_{31}$

$F_{рез24}{}^2 = F_{21}^2 + F_{41}^2 = 2F_{41}^2$ $\qquad F_{рез24} = \sqrt[2]{2}\, F_{41} = \sqrt[2]{2}\, k\frac{q_1 q_4}{r^2} = \sqrt[2]{2} k\frac{q^2}{r^2}$

$F_{31} = k\frac{q_3 q_1}{OB^2} = k\frac{q^2}{OB^2}$ $\qquad OB^2 = r^2 + r^2 = 2r^2$

$F_{31} = k\frac{q^2}{OB^2} = k\frac{q^2}{2r^2}$ $\qquad F_{51} = k\frac{q_5 q_1}{(\frac{OB}{2})^2} = 4k$ $\qquad 4k\frac{q_5 q_1}{OB^2} = \sqrt[2]{2}\, k\frac{q^2}{r^2} + k\frac{q^2}{2r^2}$

$4K\frac{q_5 q_1}{OB^2} = kq^2(\sqrt[2]{2} + \frac{1}{2r^2})$ $\qquad q_5 = \frac{q(1+2^2\sqrt[2]{2})}{4}$

Подставляя численные значения, получаем:

$q_5 \approx -0{,}957 * 10^{-6}$Кл .

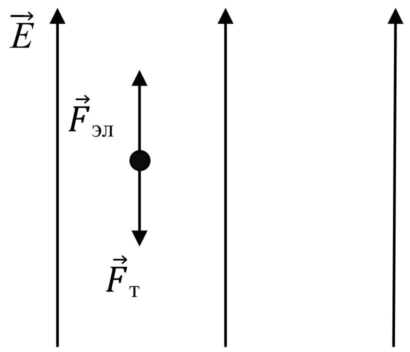
4.2.2. Парение тел в электростатическом поле

В данном виде задач рассматриваются ситуации равновесного состояния заряженного тела, находящегося во внешнем электростатическом поле. В соответствии с 1-м законом Ньютона, равновесие любого тела происходит при условии равенства нулю равнодействующей всех сил, действующих на тело. Это условие можно записать и по - другому: алгебраическая сумма сил, действующих в одну сторону, равна алгебраической сумме сил, действующих в другую сторону: $F_1 + F_2 = F_3 + F_4$ (количество сил зависит от конкретных условий задачи). Решение этого вида задач принципиально ничем не отличается от ранее рассмотренных.

Задача

Пылинка, имеющая заряд 1нКл, неподвижно висит в однородном электрическом поле, напряженностью $2*10^4$Н/Кл. Вектор напряженности поля направлен вверх. Найти массу пылинки. Сколько избыточных электронов содержит пылинка?

Дано:
q = 1 нКл=$1\cdot10^{-9}$ Кл
E =$2*10^4$Н/Кл
m – ?
N - ?



Поскольку $\vec{F}_{рез} = 0$ и на пылинку действует только 2 силы, то можно записать:

$F_m = F_{эл}$ $\quad mg = Eq$ $\quad m = \frac{Eq}{g}$;

$m = \frac{1*10^{-9}*2*10^{4}}{10} = 2*10^{-6}$(кг) $\quad N = \frac{q}{q_e} = \frac{1*10^{-9}}{1,6*10^{-19}} = 6*10^{9}$

$m = 2*10^{-6}$ кг; $\quad N = 6*10^{9}$.

З*адача*

В вертикально направленном однородном электрическом поле находится пылинка массой $1*10^{-9}$г и зарядом $3,2*10^{-17}$Кл. Какова напряженность поля, если сила тяжести пылинки уравновешена силой электрического поля?

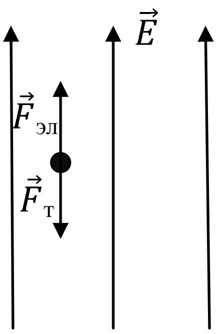
Дано:

m = $1*10^{-12}$Кг

q = $3,2*10^{-17}$Кл

$F_т = F_{эл}$

E - ?



$F_т = F_{эл}$ $\quad mg = Eq$ $\quad E = \frac{mg}{q}$

$E = \frac{1*10^{-12}*10}{3,2*10-17} = 3,125*10^{5}$(В/м)

$E = 3*10^{5}$(В/м)

ЗАДАЧА

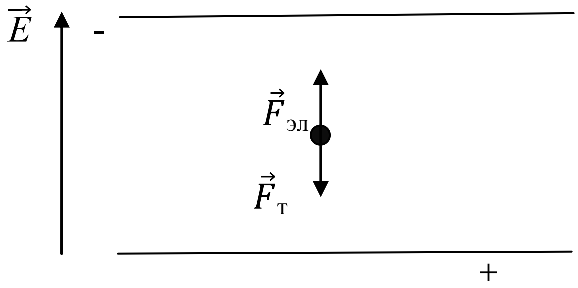
Определить заряд пылинки массой 0,01г, находящейся в равновесии в однородном электрическом поле напряженностью 420 кН/Кл.

Дано

m = 0,01 г = $1\cdot10^{-5}$ кг

E = 420 кН/Кл = $4,2\cdot10^{5}$ Н/Кл

q - ?



$F_т = F_э$ $\quad$ $mg = Eq$ $\quad$ $q = \frac{mg}{E}$ $\quad$ $q = \frac{0{,}01*10^{-3}*10}{4{,}20*10^{5}} = 20*10^{-11}$ (Кл)

$q = 20*10^{-11}$ Кл

Задача

Пылинка с зарядом 222пКл находится в равновесии в поле плоского горизонтально расположенного конденсатора. Найти разность потенциалов между пластинами конденсатора, если масса пылинки 0,01г и расстояние между пластинами 5см.

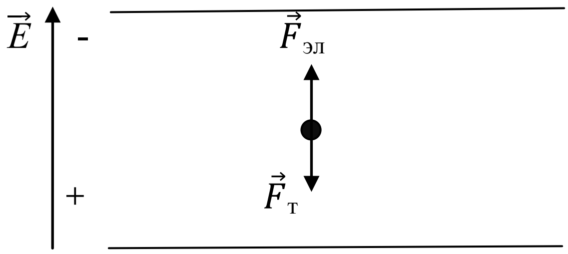
Дано:

$m = 0{,}01*10^{-3}$кг

$q = 222*10^{-12}$Кл

$d = 5*10^{-2}$м

U -?



$F_т = F_{эл}$ $\quad$ $mg = Eq$ $\quad$ $E = \frac{U}{d}$ $\quad$ $mg = \frac{U}{d}q$

$U = \frac{mgd}{q} = \frac{0{,}01*10^{-3}*10*5*10^{-2}}{222*10^{-12}} = 22*10^{3}$(В)

$U = 22*10^{3}$В

Задача

Пылинка массой 10^{-11}г имеющая избыточный заряд, равный 20 элементарных зарядов, находится в равновесии между двумя параллельными пластинами, наэлектризованными до разности потенциалов 135В. Каково расстояние между пластинами?

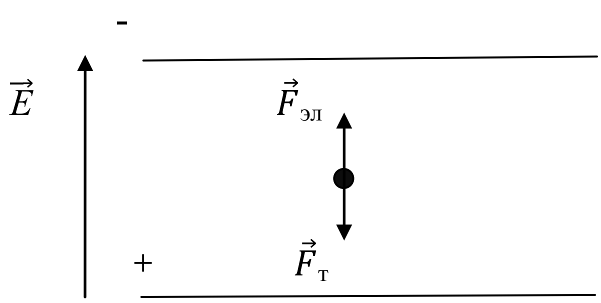
Дано:

$q = 20 \cdot q_e = 20 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *Кл*

$m = 1*10^{-11}$ г$=1 \cdot 10^{-14}$кг

U = 135 В

d -?



$F_т = F_{эл}$ $\quad$ $mg = Eq$ $\quad$ $E = \frac{U}{d}$ $\quad$ $d = \frac{qU}{mg}$

$$d = \frac{20*1{,}6*10^{-19}*135}{1*10^{-11}*10^{-3}*10} = 0{,}04(м) \qquad d = 0{,}04м$$

Задача

Стальной шар радиусом 0,5 см., погруженный в керосин, находится в однородном электрическом поле напряженностью 35 кВ/м, направленной вертикально вверх. Определить заряд шара, если он находится во взвешенном состоянии.

ДАНО:

$r=0{,}5*10^{-2}$ м

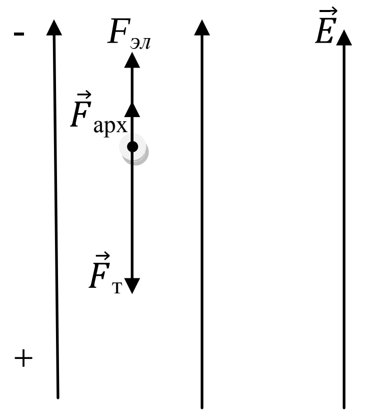
$\varepsilon = 2{,}1$

$\rho_к = 800кг/м^3$

$\rho_{ст} = 7{,}8*10^3кг/м^3$

---

q - ?



$$F_т = F_{эл} + F_{арх}$$

$$mg = qE_{кер} + \rho_к g\,v$$

$$\rho_{ст} g\,v = qE_{кер} + \rho_к g\,v \qquad qE_{кер} = \rho_{ст} g\,v - \rho_к g v$$

$$qE_{кер} = vg(\rho_{ст} - \rho_к)$$

$$q = \frac{vg(\rho_{ст} - \rho_к)}{E_{кер}} \qquad \varepsilon_{кер} = \frac{E_{возд}}{E_{кер}} \qquad E_{кер} = \frac{E_{возд}}{\varepsilon}$$

$$q = \frac{vg(\rho_{ст} - \rho_к)*\varepsilon}{E} = \frac{4/3*\pi r^3 g(\rho_{ст} - \rho_к)*\varepsilon}{E}$$

$$q = \frac{3/4*3{,}14(0{,}5*10^{-2})^3 1*10*(7{,}8*10^3 - 0{,}8*10^3)}{35*10^3} = 8{,}7\ (мКл)$$

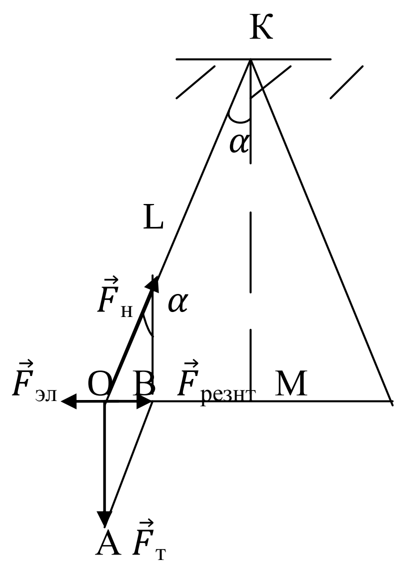
4.2.3. *Взаимодействие подвешенных на нитях зарядов*

Общий круг задач связан с требованиями определения различных параметров взаимодействующих тел: заряда, массы, линейных размеров подвесов. Возможны требования и по нахождению характеристик среды, в которой происходит взаимодействие заряженных тел.

Задача

Два одинаковых заряженных шарика массой 0,25г каждый подвешены в воздухе на тонких шелковых нитях длиною по 1м. Когда им был сообщен одинаковый заряд, они разошлись на расстояние 6см друг от друга. Чему равен заряд каждого из шариков?

Дано: СИ
$m_1 = m_2 = 0{,}25$ г$=0{,}25 * 10^{-3}$кг
$L_1 = L_2 = 1$м
$r = 6$ см$=6 * 10^{-2}$м
q_1 - ?
q_2 - ?



Любое тело (шарик) будет находиться в равновесии, если равнодействующая всех сил, действующих на шарик, будет равна нулю.

$$\vec{F}_{рез} = 0$$

На шарик действует три силы: $F_т$, $F_н$ и $F_{эл}$. Содержательный анализ показывает: действие силы натяжения и силы тяжести можно заменить промежуточной результирующей силой $F_{резнт}$, которая должна быть равна по модулю и противоположна по направлению $F_{эл}$. Соответственно, условие равновесия можно записать более кратко:

$F_{резнт} = F_{эл}$ $\qquad F_{эл} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$;

В этом выражении неизвестны искомые заряды и сила $F_{эл}$.

$F_{эл}$ можно определить по значению $F_{резнт}$. $F_{резнт}$ находим из силового треугольника OAB:

$\tan\alpha = \frac{F_{резнт}}{F_т}$ $\qquad F_{резнт} = F_т * \tan\alpha$

$\tan\alpha$ находим из линейного треугольника OKM: $\tan\alpha = \frac{OM}{MK}$

ОК = L, МК = $\sqrt[2]{L^2 - \frac{r^2}{4}} = 1/2\sqrt[2]{4L^2 - r^2}$

ОМ = $1/2\sqrt[2]{4 * 1^2 - 0{,}0009} \approx 1$

Заметим, что расчеты подтверждают, что при малых углах отклонения

$\tan\alpha \approx \sin\alpha$, чем можно пользоваться при решении других задач.

$\tan\alpha \approx \sin\alpha = \frac{OM}{OK} = \frac{2L}{r}$ Соответственно, $F_{резнт} = F_т \frac{OM}{OK} = F_т\frac{2L}{r}$

$k\frac{q_1 q_2}{r^2} = F_т \frac{OM}{OK}$; $k\frac{q_1 q_2}{r^2} = mg\,\frac{2L}{r}$ $q = \sqrt[2]{\frac{mgr2L}{k}}$

$q = \sqrt[2]{\frac{0{,}25*10^{-3}6*10^{-2}2*1}{9*10^9}} \approx 0{,}58*10^{-2} \approx 5{,}8*10^{-3}$(Кл)

$q = 5{,}8*10^{-3}$Кл

Задача

Два одинаковых шарика массой по 44,1г подвешены на нитях длиной 0,5м. При сообщении шарикам одинаковых избыточных зарядов они оттолкнулись друг от друга так, что угол между ними стал равен 90°. Найдите величины избыточных зарядов на шариках.

Дано:

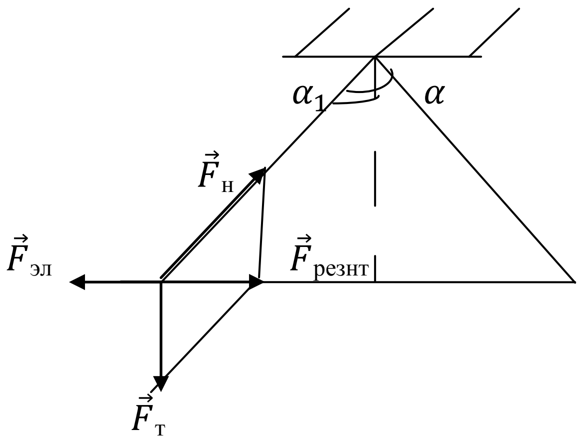
$m_1 = m_2 = 44{,}1$ г$=44{,}1 \cdot 10^{-3}$кг

$L_1 = L_2 = 0{,}5$м

$\alpha = 90°$

q_1 -?

q_2 -?



Анализ показывает, что задача аналогична предыдущей. Упрощающим элементом является знание угла. Угол $\alpha_1 = 45^0$, поскольку весь угол $\alpha = 90^0$.

$F_{резнт} = F_{эл}$ $k\,\frac{q^2}{r^2} = mg$

r находим из линейного треугольника : $L^2 = 2(\frac{r}{2})^2$ $r^2 = 2L^2$

$k\frac{q^2}{2L^2} = mg$ $q = \sqrt[2]{\frac{2mgL^2}{k}} = \sqrt[2]{\frac{2*44,1*10^{-3}10*0,25}{9*10^9}} = 4,9 *10^{-6}$ (Кл) = 4,9(мкКл)

q = 4,9 мкКл

Задача. Два одинаковых шарика подвешенные на нитях длиной по 20 см, соприкасаются друг с другом. Шарикам сообщен общий заряд $4,0 *10^{-7}$Кл, после чего они разошлись так, что угол между ними стал равен 60^0. Найти массу шариков.

ДАНО:

$L_1 = L_2 = 0{,}2$м

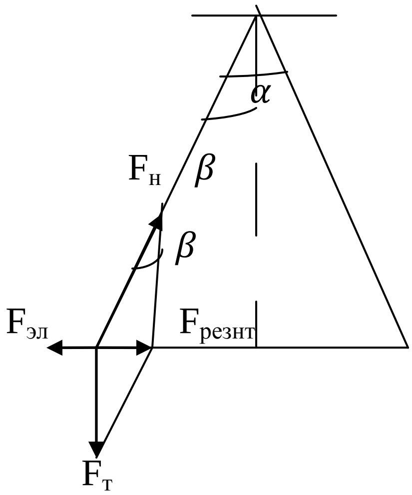
$q_0 = 4{,}0 *10^{-7}$Кл

$\alpha = 60°$

---

m_1 - ?

m_2 - ?



Данная задача отличается от предыдущей тем , что там была известна масса, а здесь её требуется найти, но модель задачи одна и та же. Второе отличие связано с известным углом. В предыдущей задаче тригонометрические отношения заменялись отношениями сторон соответствующего треугольника, здесь же необходимо определять сами $\tan\beta$ и $\sin\beta$. Учитывая проведенный в предыдущей задаче анализ, записываем:

$F_{резнт} = F_{эл}$ $F_{резнт} = F_т \tan\beta \approx mg\tan\beta$ $F_{эл} = k\,\frac{q^2}{r^2}$

$k\,\frac{q^2}{r^2} = mg\tan 30°$ $m = \frac{kq^2}{gr^2\tan 30°}$ $q_1 = q_2 = 1/2q_0 = 2*10^{-7}$ Кл.

В этом выражении неизвестно расстояние, на которое разошлись заряды. Его можно найти из линейного треугольника:

$\sin\beta = \sin\frac{\alpha}{2} = \frac{\frac{r}{2}}{L} = \frac{r}{2L}$ r = 2L $\sin 30^\circ$ $m = \frac{kq^2}{g(2L\sin 30^\circ)^2 \tan 30}$

$m = \frac{kq^2}{g\tan 30^\circ * 4L^2(\sin 30^\circ)^2} = \frac{9*10^9 16*10^{-14}}{10*0{,}5774*4*0{,}04*0{,}25}$ $m \approx 155{,}89*10^{-5} \approx 1{,}6*10^{-3}$ кг.

$m \approx 1{,}6$ г.

Задача

Два одинаковых маленьких шарика подвешены на нитях длиною по 2м к одной точке. Когда шарикам сообщили заряд по $q = 2*10^{-8}$Кл, то они разошлись на расстояние 16 см. Определите натяжение каждой нити.

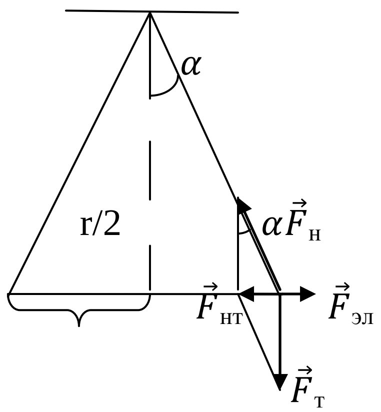
Дано:

$L_1 = L_2 = 2$м.

$q = 2*10^{-8}$Кл

r = 0, 16 м

$F_н$ -?



Задача по физической модели полностью тождественна предыдущим задачам. Отличие только в требовании задачи. Физический анализ ситуации проведен неоднократно, поэтому сразу записываем условие равновесия:

$F_{резнт} = F_{эл}$ $k\frac{q^2}{r^2} = mg\tan\alpha$ $\tan\alpha \approx \sin\alpha$

$k\frac{q^2}{r^2} = mg\sin\alpha$ $\sin\alpha$ находим из линейного треугольника:

$\sin\alpha = \frac{\frac{r}{2}}{L} = \frac{r}{2L} = \frac{0{,}16}{2*2} = 0{,}04$

$F_н = \frac{F_{нт}}{\sin\alpha} = \frac{F_{нт}}{0{,}04} = \frac{kq^2}{r^2*0{,}04} = \frac{9*10^9*4*10^{-16}}{0{,}0256*0{,}04}$;

$F_н = 35156{,}25 * 10^{-7} \approx 3{,}5 * 10^{-3}$(Н)

$F_н = 3{,}5 * 10^{-3}$(Н)

Задача

Два одинаковых заряженных маленьких шарика подвешенные на нитях одинаковой длины, находятся в керосине. Какова должна быть плотность шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и керосине был один и тот же. Плотность керосина 800 кг/м^3, относительная диэлектрическая проницаемость керосина равна 2.

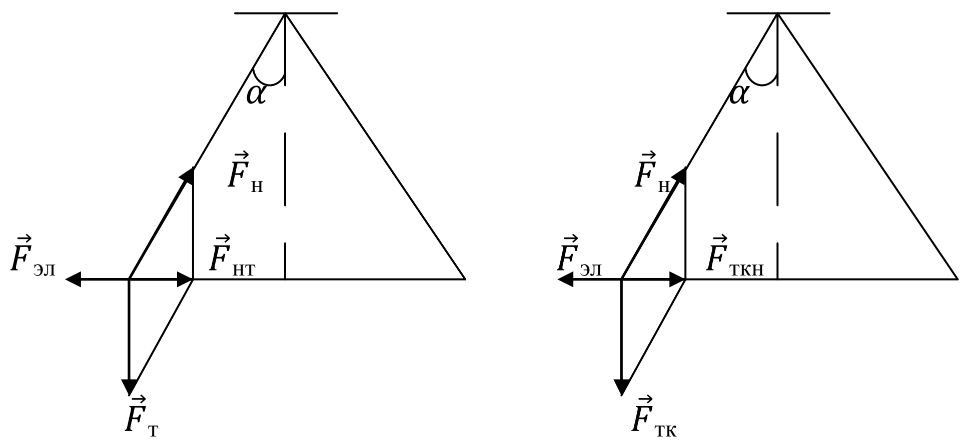
ДАНО:

$L_1 = L_2$

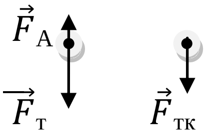
$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$

Е =2

ρ_k =



Условие задачи во всем напоминает предыдущие задачи. Следовательно, модель и принцип решения одинаковы. Усложненность связана с нахождением шариков в керосине. Поэтому во втором случае на каждый шарик действует по 4 силы: 3 силы, такие же, как и в первом случае, и одна дополнительная – выталкивающая сила со стороны керосина. Выталкивающая сила действует вертикально вверх. Соответственно, вниз действует результирующая сила $F_{тк}$, равная разности силы тяжести и выталкивающей силы со стороны керосина:



$F_{тк} = F_{т} - F_{выт,к}$

Теперь можно считать, что во втором случае на шарик действуют силы $F_{эл}$, $F_{н}$ и $F_{тк}$. Геометрически складываем $F_{н}$ и $F_{тк}$ и получаем результирующую этих сил $F_{ткн}$. Второй случай вновь свёлся к уже известной и неоднократно разбиравшейся модели, такой же, как и в первом случае. Выражаем $F_{эл}$ из первой и второй ситуаций:

$F_{эл} = F_{нт}$ (1-й случай) $\qquad$ $F_{эл2} = F_{ткн}$ (2-й случай)

В первом случае $F_{нт} = mg \tan\alpha$

Во втором случае $F_{ткн} = F_{тк} \tan\alpha = (F_т - F_{выт,к}) \tan\alpha = (mg - F_{выт,к}) \tan\alpha$

Учтем, что $F_{эл2} = \frac{F_{эл\,1}}{\varepsilon_к}$ $F_{эл1} = F_{эл2}\ \varepsilon_к$

$F_{нт} = F_{ткн}\ \varepsilon_к$

$mg \tan\alpha = (mg - F_{выт,к}) \tan\alpha * \varepsilon_к$; сокращаем на $\tan\alpha$;

$mg = (mg - F_{выт,к}) * \varepsilon_к$ Раскрывая скобки и делая математические преобразования, получаем:

$mg = 2 F_{выт,к}$ $mg = 2\rho_k g\ v$ $m_ш = \rho_ш\ v_ш$

$\rho_ш\ v_ш\ g = 2\ \rho_k\ g\ v$ $\rho_ш = 2\ \rho_k$ $\rho_ш = 2*800 = 1600 (кг/м^3)$

$\rho_ш = 1600$ кг/м^3

*Да*нную задачу можно было решить, выражая из двух ситуаций и приравнивая $\tan\alpha$. Разница была бы только в математических преобразованиях.

Задача

На шелковой нити в воздухе висит неподвижно шарик массой 12г, имеющий заряд 1 мкКл. Определить натяжение нити, если снизу на расстоянии 30 см. по вертикали расположен такой же одноименный точечный заряд.

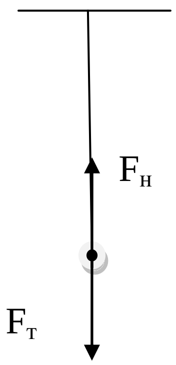
Дано:

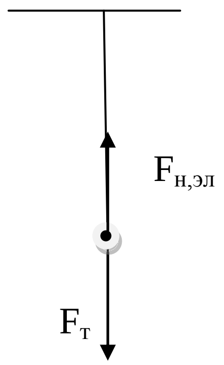
$m = 12*10^{-3}$кг

$q = 1*10^{-6}$Кл

$r = 0{,}3$м

$F_н$ - ?





Условие равновесия для первого случая

$F_н = F_т$

Во втором случае добавляется ещё одна сила: сила электрического отталкивания, направленная вверх. Соответственно, во второй ситуации, на шарик действуют три силы, но, действие сил натяжения и силы электрического отталкивания можно заменить их равнодействующей $F_{н,эл}$

$F_{н,эл} = F_{н2} + F_{эл}$

Условие равновесия для второго случая запишется следующим образом:

$F_{н,эл} = F_т$ $\quad F_{н2} + F_{эл} = F_т$ $\quad F_{н2} = F_т - F_{эл} = mg - k\frac{q^2}{r^2}$

$F_{н2} = 0{,}012 * 10 - \frac{9*10^9(1*10^{-6})^2}{(0{,}3)^2} = 0{,}12 - 100*10^{-3}(Н)$

$F_{н2} = 0{,}02Н$

Следующий вид задач моделирует ситуацию внесения заряженного шарика во внешнее электрическое поле. Модель решения включает в себя использование принципа суперпозиции при нахождении сил, действующих на тело, включая силу, действующую как со стороны электрического поля, так и со стороны вещественных объектов.

Задача

Определить силу натяжения нити, на которой висит шарик массой 25 мг и имеющий заряд 7мкКл, если поместить его в горизонтальное электрическое однородное поле с напряженностью 35 В/м.

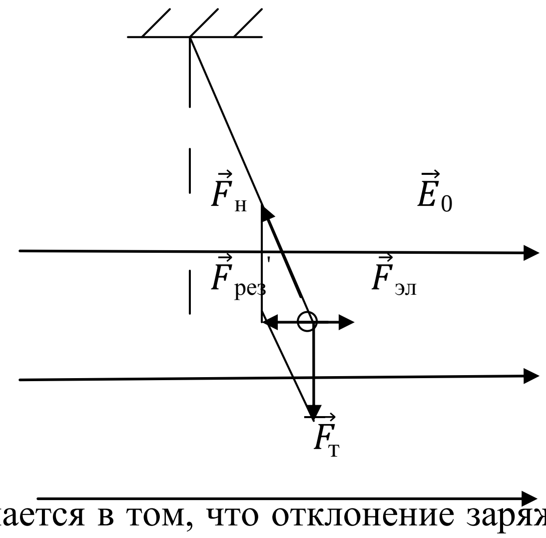
Дано:

$m = 25$ мг$=25*10^{-6}$кг

$q = 7$ мкКл$=7*10^{-6}$Кл

$E = 35$ *В/м*

Fн - ?



Особенность задачи заключается в том, что отклонение заряженного шарика происходит не за счет действия другого заряженного тела, а за счет действия внешнего электрического поля. Условием равновесия заряда является равенство $F_{рез}'$ и $F_{эл}$ (по 1-му закону Ньютона).

$F_{рез}' = F_{эл}$ $F_{эл}$ - ? $E = \frac{Fэл}{q}$ $F_{эл} = q\,E$ $F_{рез}' = q\,E$

Fн находим из силового треугольника: $\sqrt[2]{E_m^2 + Fрез'^{\,2}}$

$Fн = \sqrt[2]{(mg)^2 + (Eq)^2} = \sqrt[2]{m^2g^2 + E^2q^2}$

$Fн = \sqrt[2]{(25 * 10^{-6})^2 * 10^2 + 35^2 * (7 * 10^{-6})^2}$

$\sqrt[2]{122525 * 10^{-12}} = \sqrt[2]{\frac{122525}{10^{12}}} = \frac{1}{10^6}\sqrt[2]{122525} = \frac{350}{10^6} = 350 * 10^{-6}$(Н)

$Fн = 350 * 10^{-6}$Н = 350мкН

Задача

На какой угол отклонится от вертикали нить с подвешенным на ней заряженным шариком массой 1,0 г, если его поместить в однородное горизонтальное поле напряженностью 1,1 кВ/м? Заряд шарика 4,2мкКл.

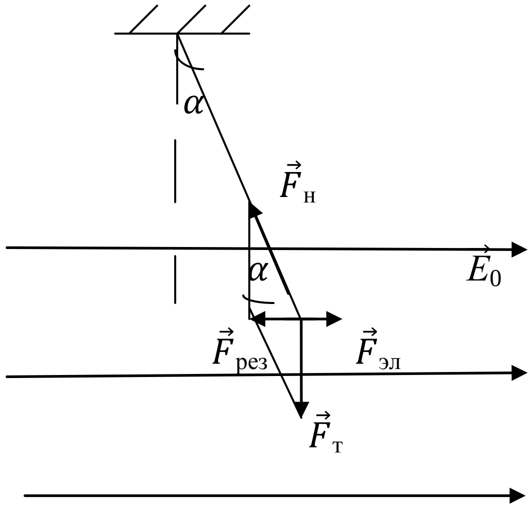
Дано:

$m = 10г = 1*10^{-3}кг$

$E = 1,1$ кВ/м$=1,1* 10^3$В/м

$q = 4,2$ мкКл$=4,2* 10^{-6}$Кл

α -?



Решение задачи полностью аналогично предыдущей задаче.

Условие равновесия (1-й закон Ньютона) запишется следующим образом:

$F_{рез}' = F_{эл}$ $F_{эл}$ - ? $E = \frac{Fэл}{q}$ $F_{эл} = q\,E$ $F_{рез}' = q\,E$

$F_{рез}'$ входит в силовой треугольник, из которого можно найти искомый угол:

$\tan\alpha = \frac{F_{рез'}}{F_m} = \frac{q\,E}{mg}$; $\tan\alpha = \frac{1{,}1*10^3}{10*1*10^{-3}} * 4{,}2*10^{-6} = 0{,}462*10^0 = 0{,}462$

$\alpha = \text{arc}\tan 0{,}462$ $\alpha \approx 26^0$

$\alpha \approx 26^0$

4.2.4. Равновесие проводника с током под действием силы ампера

Данный тип задач по технике и подходам к решению принципиально ничем не отличается от ранее рассмотренных задач. Выделение этого круга задач в отдельный вид объясняется только тем, что на рассматриваемое тело, наряду с уже известными, действует новая сила: сила Ампера со стороны магнитного поля, в которое помещен проводник с током. Все особенности изображения силы Ампера рассмотрены ранее.

Задача

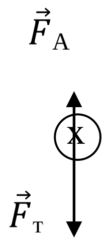
В однородном магнитном поле с индукцией 0, 06Тл находится проводник, расположенный горизонтально. Линии индукции поля также горизонтальны и перпендикулярны проводнику. Какой ток должен течь по проводнику, чтобы он висел не падая. Масса единицы длины проводника 0, 03кг/м.

ДАНО:

B =0, 06Тл

m = 0, 03кг/м

L - ?



изображено поперечное сечение проводника

значок «х» - ток идет от нас

Особенностью данной задачи является то, что дан проводник с током, на который действует не сила со стороны электрического поля, а сила Ампера со стороны магнитного поля, в котором он находится. Принцип решения задачи тот же.

$F_т = F_A$ $mg = ILB$ $I = \frac{mg}{LB} = \frac{0{,}03*10}{1*0{,}06} = 5(A)$ $I = 5A$

Задача

В горизонтальном магнитном поле индукцией 49мТл на двух вертикальных нитях висит проводник длиной 0,2м и массой 5г. Какой ток надо пропустить через проводник, чтобы нить разорвалась? Максимальное натяжение, выдерживаемое нитью 39,2мН. Магнитное поле и проводник взаимно перпендикулярны.

Дано:

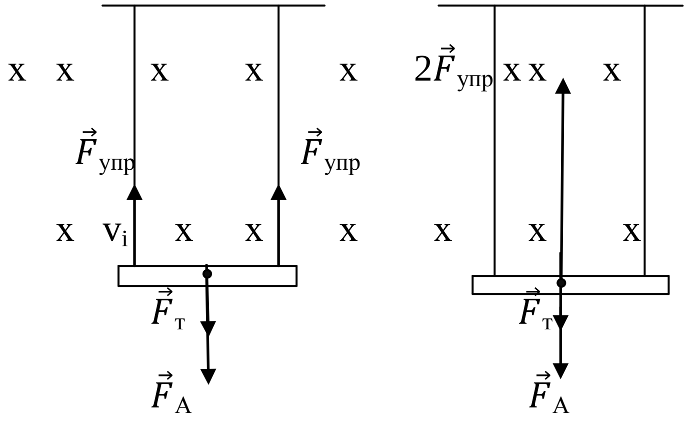
$B = 49$ мТл$=49*10^{-3}$Тл

$m = 5$ г$=5*10^{-3}$ кг

$L = 0{,}2$ м

$F_{упр} = 39{,}2$ мН$=39{,}2*10^{-3}$Н

I - ?



На проводник действует несколько сил, следовательно, задача должна решаться с применением принципа суперпозиции. Но, поскольку, по условию задачи, проводник находится в равновесии, то алгебраическая сумма сил, действующих на проводник в одну сторону, должна равняться сумме сил, действующих в другую. Магнитное поле (вектор магнитной индукции $\vec{B}$) направлен от нас. Ток течет налево и сила Ампера, определённая по правилу левой руки, направлена вниз. Кроме силы Ампера на проводник с током действует сила тяжести, направленная вниз, и силы упругости со стороны двух нитей, на которых висит проводник. В связи с тем, что нитей две, то на проводник действует удвоенная сила упругости. Это показано на втором рисунке. Условие равновесия запишется следующим образом:

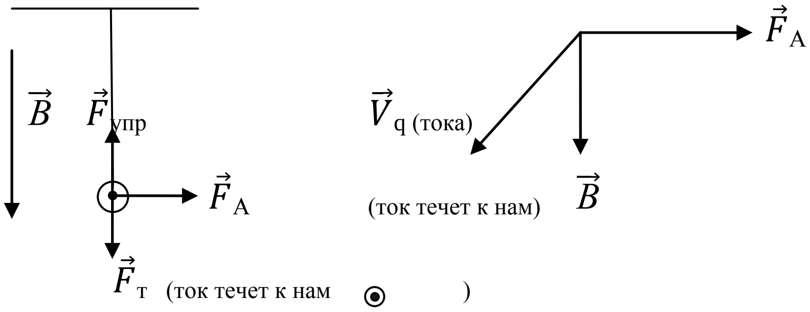
$2F_{упр} = F_т + F_A$ $\quad\quad$ $2F_{упр} = mg + BIL$ $\quad\quad$ $BIL = 2F_{упр} - mg$

$I = \frac{2F_{упр} - mg}{BL}$ $\quad\quad$ $I = \frac{2*39{,}2*10^{-3} - 5*10^{-3}*10}{49*10^{-3}*0{,}2} \approx 2{,}89 \approx 2{,}9$(A) $\quad\quad$ $I =$ 2,9 A

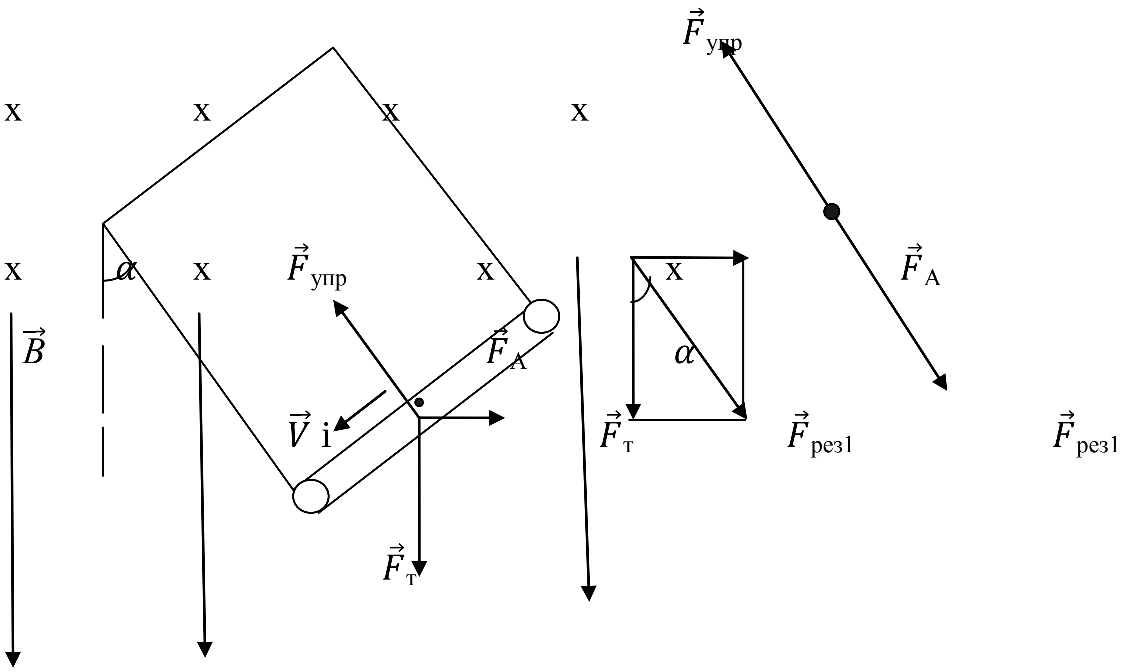
Задача

В вертикальном магнитном поле с индукцией 0,25Тл на двух тонких проволочках висит горизонтальный проводник массой 10г и длиной 20см.На какой угол от вертикали отклонятся проволочки, поддерживающие проводник, если по нему пропустить ток 2А. Массами проволочек пренебречь.

Вектор $\vec{B}$ вертикален и может быть направлен как вверх, так и вниз. Для определенности положим, что он направлен вниз. Зная, что вектора $\vec{B}$ и $\vec{F}_A$ перпендикулярны друг другу, можно сделать вывод, что сила Ампера может быть направлена либо вправо, либо влево: это зависит от направления движения тока. Ток может течь в проводнике как к нам, так и от нас. Если условиться, что ток течет к нам, то сила Ампера должна быть направлена вправо.



На проводник с током действует три силы: $\vec{F}_{упр}$, $\vec{F}_{А}$ и $\vec{F}_{т}$ (принцип суперпозиции). Эти три силы обеспечивают равновесие проводника. Можно провести геометрическое сложение силы тяжести и силы Ампера, заменив их $\vec{F}_{рез1}$. Эта сила компенсирует действие силы упругости. В итоге общая равнодействующая равна нулю.



Дано: $\operatorname{tg}\alpha$ находим из силового треугольника, полученного при

B = 0,25Тл сложении сил, действующих на проводник с током.

m $= 10 \cdot 10^{-3}$ кг $\operatorname{tg}\alpha = \frac{F_A}{F_m}$ $\operatorname{tg}\alpha = \frac{BIL}{mg}$ $\operatorname{tg}\alpha = \frac{0{,}25*2*0{,}2}{10*10^{-3}*10} = 1$

L = 0,2м

I = 2A $\alpha = 45^0$

α–?

Задача

Между полюсами магнита подвешен горизонтально проводник длиной 0,2м и массой 10г. Индукция однородного магнитного поля перпендикулярна проводнику и направлена вертикально. На какой угол от вертикали отклонятся нити, поддерживающие проводник, если по нему пропустить ток 2А ?

Дано:

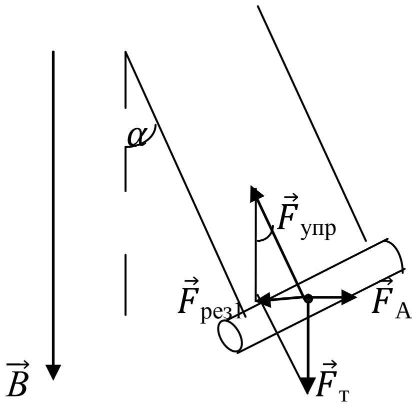
L = 0,2м

m = 10 г=10$*$ 10^{-3}кг

I =2А

B = 49 мТл=49$*$ 10^{-3}Тл

$\alpha -$?



Физическая картина задачи ничем не отличается от предыдущей ситуации, поэтому все рассуждения по изображению сил, действующих на проводник с током, полностью аналогичны. Тем не менее, при записи условия равновесия можно воспользоваться другим вариантом геометрического сложения: произведем сложение силы упругости и силы тяжести. Полученная промежуточная результирующая сила компенсирует действие силы Ампера и, в соответствии с этим можно записать:

$F_{рез1} = F_A$ $\qquad$ $\operatorname{tg}\alpha = \frac{F_{рез1}}{mg} = \frac{F_A}{mg} = \frac{BIL}{mg}$ $\qquad$ $\operatorname{tg}\alpha = \frac{49*10^{-3}*2*0{,}2}{10*10*^{-3}*10} \approx 0{,}2$

$\alpha = \operatorname{arctg} 0{,}2 \approx 11{,}3^0$

$\alpha \approx 11{,}3^0$

4.3. Движение заряженного тела под действием одной силы

4.3.1. *Ускоренное движение частицы в электростатическом поле*

Принцип решения задач данного типа ничем не отличается от решения задач на рассмотрение движения материальной точки под действием одной или нескольких сил. Просто в число действующих на тело сил входит новая по природе сила - сила со стороны электрического поля.
Исходным законом при решении задач данного типа является 2-й закон Ньютона: $\vec{F}_{рез} = m\vec{a}$

Задача

Электрон, помещенный в однородное электрическое поле движется с ускорением $1{,}6 *10^{14}$ м/с^2. Определить напряженность поля.

ДАНО:
$q = -1{,}6 *10^{-19}$ Кл
$m = 9{,}1*10^{-31}$ кг
$a = 1{,}6*10^{14}$ м/с^2

E -?

По условию задачи на электрон действует только одна сила со стороны электрического поля, поэтому именно она одна и является причиной появления ускорения. Соответственно, к задаче применим динамический подход:

$F_{эл} = ma \qquad E = \frac{F}{q} = \frac{ma}{q} = \frac{9{,}1*10^{-31}*1{,}6*10^{14}}{1{,}6*10^{-19}} = 9{,}1*10^2$ (В/м)= 0,91 (кВ/м)

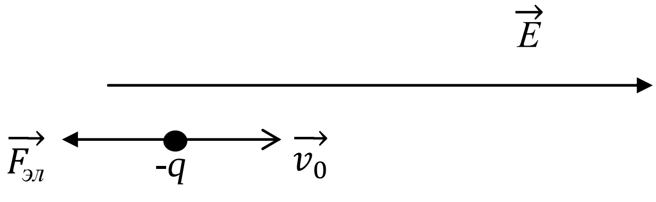
E = = 0,91 кВ/м

Задача

Электрон, имеющий скорость $v_{0,}$ влетает в электрическое поле напряженностью $\vec{E}$, которая совпадает по направлению со скоростью электрона. Найдите расстояние, на которое успеет пролететь электрон до остановки.

Дано:
v_0
E
$v_к = 0$

S - ?



В задаче требуется определить кинематическую характеристику электрона: пройденное расстояние. Электрон можно считать материальной точкой и, соответственно, к задаче применим динамический подход. Поскольку по условию задачи не известно время движения, то необходимо использовать формулу

$S = \frac{v_к^2 - v_0^2}{-2a} = \frac{-v_0^2}{-2a}$ (проекция ускорения отрицательна: частица тормозит, конечная скорость равна нулю)

$S = \frac{-v_0^2}{-2a}$ (*умножаем на* -1); $S = \frac{v_0^2}{2a}$;

Для нахождения расстояния необходимо знать ускорение. Причиной ускорения является сила, действующая со стороны электрического поля.

$\vec{F}_{эл} = m\vec{a}$ $-F = -ma$

$F = ma$ $a = \frac{F}{m} = \frac{Eq}{m}$ $S = \frac{v_{0}^2 * m}{2Eq}$

Задача

Точечный электрический заряд -5 мКл массой 9 мг, влетел в однородное электростатическое поле со скоростью 10 км/с, направленной вдоль силовых линий. Через один километр пути его скорость оказалась равной 1 км/с. Определить значение напряженности электростатического поля.

Дано:	
$q = -5$ мКл$=-5 * 10^{-3}$Кл	Исходя из данных задачи, движение частицы является равнозамедленным. Торможение происходит за счет действия электрического поля. Соответственно, основным уравнением, описывающим ускоренное движение частицы, является 2-й закон Ньютона:
$m = 9$ мг$=9 * 10^{-6}$кг	
$v_0 = 10$ км/с$=10 * 10^3$м/с	
$v = 1$ км/с$=1 * 10^3$м/с	
$S = 1$ км$=1 * 10^3$м	
E - ?	

$\vec{F}_{рез} = m\vec{a}$ $E = \frac{F_{эл}}{q}$ $F_{эл} = qE$

$-qE = -ma$ $qE = ma$ a - ?

$S = \frac{v_k^2 - v_0^2}{2a}$ $a = \frac{v_k^2 - v_0^2}{2s}$ $qE = m\frac{v_k^2 - v_0^2}{2s}$ $E = m\frac{v_k^2 - v_0^2}{2sq}$

$E = 9 * 10^{-6} \frac{((1*10^3)^2 - (10*10)^{3)\,2})^2}{2*5*10^{-3}*1*10^3} = \frac{9*99}{10} = 89,1$ (В/м)

E = 89,1 В/м

Задача

Электрон, попадая в однородное электрическое поле, движется по направлению силовых линий. Рассчитайте, через какой промежуток времени скорость электрона станет равной нулю, если напряженность поля равна 100 Н/Кл, а начальная скорость электрона равна $2*10^6$м/с.

Дано:
$v_k = 0$
$E = 100$ Н/Кл
$v_0 = 2*10^6$ м/с

t - ?

$-F_{эл} = -ma \qquad F_{эл} = ma$

$eE = m\frac{v_к - v_0}{t} = \frac{mv_0}{t} \qquad t = \frac{mv_0}{eE}$

$t = \frac{9,1*10^{-31}*2*10^6}{1,6*10^{-19}*100} = 1,1*10^{-7}$(с)

$t = 1,1*10^{-7}$с

Задача

Какую скорость разовьет в электрическом поле E протон с удельным зарядом q/m, пройдя в направлении силовых линий путь d ? Начальная скорость протона равна нулю.

Дано: Запишем 2-ой закон Ньютона: qE = ma
E
ускорение находим из формулы пути
q/m
d
$V_0 = 0$

$V_к$ - ?

$S = \frac{v_k^2 - v_0^2}{2a} \qquad a = \frac{v_к^2 - v_0^2}{2s} = \frac{v_к^2}{2s}$

$qE = m\frac{v_к^2}{2s} \qquad v_k = \sqrt[2]{\frac{2SqE}{m}}$

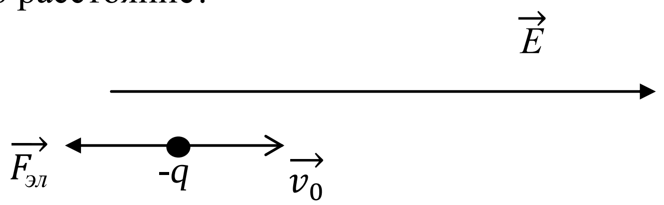
$qE = m\frac{v_к^2}{2s} \qquad v_k = \sqrt[2]{\frac{2SqE}{m}}$

Задача

Электрон движется в направлении однородного электрического поля с напряженностью 120 В/м. Какое расстояние пролетит электрон до полной потери скорости, если его начальная скорость 1000 км/с? За какое время будет пройдено это расстояние?

ДАНО:
$E = 120$ В/м
$v_0 = 1000 * 10^3$ м/с
$v_к = 0$

S -? t - ?



$-F_{эл} = -ma \qquad F_{эл} = ma \qquad a = \frac{qE}{m}$

$a = \frac{1,6*10^{-19}*120}{9,1*10^{-3}} \approx 21,1*10^{12}$(м/с^2) $\qquad$ $S = \frac{v_{k-}^2 v_0^2}{-2a} = \frac{v_0^2}{2a}$

$S = \frac{(10^6)^2}{2*21,1*10^{12}} = 0,024$(м)

$v_k = v_0$ - at; $\quad 0 = v_0 - at \quad v_0 = at \quad t = \frac{v_0}{a}$

$t = \frac{10^6}{21,1*10^{12}} = 0,047*10^{-6}$(с);

S = 2,4см $\qquad$ $t = 47*10^{-9}$с

Задача

Найдите ускорение, с которым падает шарик массой 0,03кг и зарядом 3мкКл в однородном электростатическом поле с напряженностью 20 кВ/м. Вектор напряженности направлен вертикально вверх.

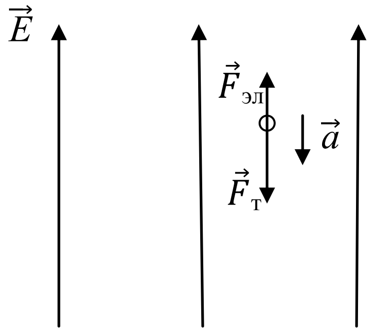
Дано:

$q = 3 * 10^{-6}$Кл

m = 0,03кг

$E = 20 * 10^3$В/м

a - ?



$\vec{F}_{рез} = m\vec{a}$ $\qquad$ $F_m - F_{эл} = ma$ $\qquad$ $mg - qE = ma$

$a = \frac{mg - qE}{m}$ $\qquad$ $a = \frac{0,03*10-3*10^{-6}*20*10^3}{0,03} = 8$ (м/с^2)

$a = 8$ м/с^2

Задача

Маленький шарик массой 10^{-3}кг, несущий заряд 10^{-3}Кл, помещен в однородное электрическое поле, направленное вертикально вниз. Шарик падает из состояния покоя и через 4 секунды приобретает скорость 50 м/с. Найти напряженность поля.

Дано:

m =10^{-3}кг

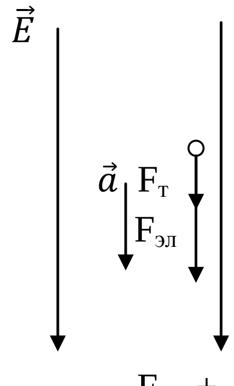
q = 10^{-3}Кл

$v_0 = 0$ м/с

v =50 м/с

t =4 с

E - ?



$\vec{E}_{рез} = m\vec{a}$ $\qquad$ $F_т + F_{эл} = ma$ $\qquad$ $mg + qE = m\frac{v_{k-} v_0}{t}$

qE = m$\frac{v_{k-}\ v_0}{t}$ – mg E = $\frac{m}{q}$ ($\frac{v_{k-}\ v_0}{t}$ – g) E = $\frac{10^{-3}}{10^{-3}}$ ($\frac{50-0}{4}$ - 10)

E = 12,5 – 10 = 2,5(В/м) E = 2,5 В/м

4.3.2. *Смещение частицы в электростатическом поле*

Физическая ситуация задач этого типа связана с рассмотрением движения заряженных частиц между пластинами заряженного конденсатора или электронно-лучевой трубки. Данное движение складывается из двух движений: из движения вдоль горизонтального направления и вертикального, вдоль которого и происходит искомое смещение частицы. Физическая картина полностью аналогична задачам на баллистическое движение в гравитационном поле Земли. Движение в гравитационном поле Земли, как и в электрическом поле конденсатора или электронно-лучевой трубки, сложное, и состоит из двух простых движений вдоль горизонтального и вертикального направлений. Особенности этих составных простых движений следующие:

а) движение вдоль горизонтального направления равномерное, поскольку в этом направлении никакие силы не действуют; б) движение в вертикальном направлении - равноускоренное без начальной скорости, происходящее в результате действия на частицу гравитационного или электрического поля. Отличие от баллистического движения состоит в том, что частица движется не с ускорением свободного падения, а с ускорением, обусловленным конкретными условиями задачами.

Задача

Между вертикально отклоняющими пластинами электронно-лучевой трубки влетел электрон со скоростью 6 $*10^7$м/с. Длина пластин 3см, расстояние между ними 1см, разность потенциалов 600В. Отношение заряда электрона к массе e/m = 1,76$*10^{11}$Кл/кг. На какое расстояние сместится электрон за время его движения между пластинами?

Дано:

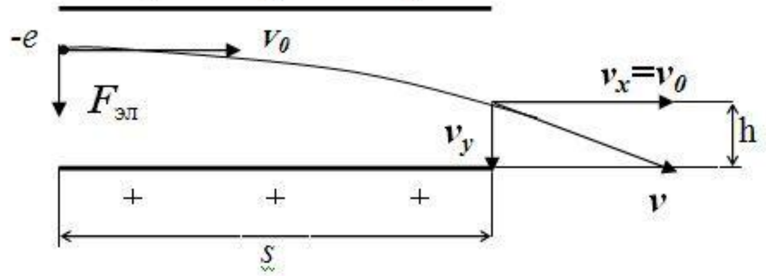
S = 3 см=3 $*10^{-2}$ м

d =1см=1$*10^{-2}$м

e/m = 1,76$*10^{11}$Кл/кг

v_x= 6 $*10^7$м/с

h - ?



Принимая электрон за материальную точку, используем динамический подход. Электрон участвует в 2-х движениях: вдоль горизонтального и вертикального направлений. Движение в вертикальном направлении равноускоренное под действием электрического поля конденсатора:

$v_{y_0} = 0$ h = $\frac{at^2}{2}$ a -? t - ?

Ускорение электрон приобретает под действием электрического поля и его можно определить, исходя из 2-го закона Ньютона: $\vec{F}_{рез} = m\vec{a}$

$F_{рез}$ представлена только силой со стороны электрического поля.

E = $\frac{F}{q}$ F = ma ma = qE a = $\frac{qE}{m}$

Используя соотношение между E и U, получаем: E = $\frac{U}{d}$ a = $\frac{qU}{md}$

Время движения можно найти, рассматривая движение электрона вдоль горизонтального направления: оно равномерное (вдоль этого направления никакая сила не действует) и поэтому v_x= const.

В этом направлении применим закон для РПД:

S = $v_x * t$ t = $\frac{S}{v_x}$

Подставляя найденные выражения для «a» и «t», получаем:

$$h = \frac{\frac{qU}{md}*t^2}{2} = \frac{\frac{q}{m}*\frac{U}{d}*\frac{S^2}{v_x^2}}{2} = \frac{\frac{q}{m}*U*S^2}{2*v_x^2*d} = \frac{1{,}76*10^{11}*600*9*10^{-4}}{2*36*10^{14}*10^{-2}} = 132*10^{-5}(м)$$

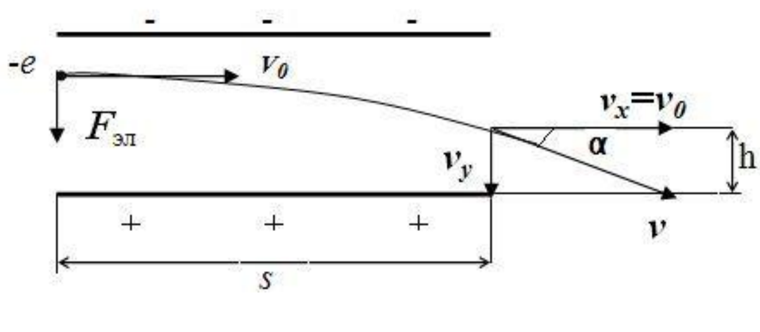
h = 1,32мм

Задача

Электрон, имеющий скорость $6 * 10^7$м/с влетает в плоский воздушный конденсатор параллельно его пластинам. Расстояние между пластинами 1см, разность потенциалов 600В. Найти отклонение электрона, вызванное полем конденсатора, если длина пластин 5см. Какой будет скорость и угол вылета электрона из конденсатора?

Дано:
d = 1 см=$1*10^{-2}$ м
U =600 В
S = 5 см=$5*10^{-2}$ м

h - ?



Анализ физической картины задачи дан в предыдущей задаче. Движение вдоль перпендикулярного направления - РУД без начальной скорости $v_{0,y}$, поэтому h = $\frac{at^2}{2}$ a -? t - ?

Вдоль горизонтального направления тело движется РПД, соответственно,

$v_x = const,$ S = $v_x * $t t = $\frac{S}{v_x}$

Вдоль вертикали электрон ускоряется электрическим полем конденсатора:

ma = qE a = $\frac{qE}{m}$ E = $\frac{U}{d}$ a = $\frac{qU}{md}$

Подставляя выражения дли ускорения и времени, получаем :

h = $\frac{q*U*S^2}{2m*d*v_x^2}$

h = $\frac{1,6*10^{-19}*600*25*10^{-4}}{2*9,1*10^{-31}*1*10^{-2}*36*10^{14}}$ = 3,66 $*10^{-3}$(м)

Конечная скорость определяется путем геометрического сложения v_x $и$ v_y:

$v_k = \sqrt[2]{v_x^2 + v_y^2}$

v_y = at = $\frac{qU}{md} * \frac{S}{v_x} = \frac{1,6*10^{-19}*600*5*10^{-2}}{*9,1*10^{-31}*1*10^{-2}*6*10^{7}} \approx \frac{8,79 * 10^6}{}$(м/$c^2$)

$v_k = \sqrt[2]{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt[2]{(6 * 10^7)^2 + (8,79 * 10^6)^2} = \sqrt[2]{36 * 10^{14} + 77,3 * 10^{12}}$ =

$\sqrt[2]{3600 * 10^{12} + 77,3 * 10^{12}} = \sqrt[2]{3677,3}$ $*10^6 \approx 60,64*10^6 \approx 6,1*10^7$(м/с)

Чтобы определить угол, под которым вылетел электрон, найдем из треугольника скоростей $\tan\alpha$:

tg $\alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{8,79 * 10^6}{6*10^7} \approx 1,465*10^{-1}$ = 0,1465

α =arctg $\alpha \approx 8,5°$

h =3,66 $*10^{-3}$м v_k = 6,1$*10^7$м/с α = 8,5°

Задача

Протон и α -частица, двигаясь с одинаковой скоростью, влетают в заряженный плоский конденсатор параллельно пластинам. Как соотносятся между собой на выходе из конденсатора смещение протона и α-частицы по оси, перпендикулярной пластинам конденсатора? $m_\alpha = 4m_p$ $q_\alpha = 2q_p$

Дано:	Рисунок, определяющий смещение одной частицы
$v_{\alpha,x} = v_{\rho,x}$	аналогичен предыдущим рисункам. Физическая картина
$S_\alpha = S_\rho$	для каждой частицы полностью идентична предыдущим

h_p/h_α - ?   задачам. Учтем, что время движения частиц также одинаковы, поскольку движение вдоль горизонтали равномерное и $v_{\alpha,x} = v_{\rho,x}$, *как и* $S_\alpha = S_\rho$. Соответственно, можно воспользоваться уже выведенной формулой для нахождения h:

$$\frac{h_p}{h_\alpha} = \frac{\frac{q_p U S^2}{2m_p d v_x^2}}{\frac{q_\alpha U S^2}{2m_\alpha d v_x^2}} = \frac{q_p * U * S^{2*} 2m_\alpha * d * v_x^2}{q_\alpha * U * S^2 2m_p * d * v_x^2} = \frac{q_p m_\alpha}{q_\alpha m_p}$$

Записывая соотношения между массами и зарядами протона и α – частицей, получаем:

$$\frac{h_p}{h_\alpha} = \frac{q_{p*4m_p}}{2q_p * m_p} = 2$$

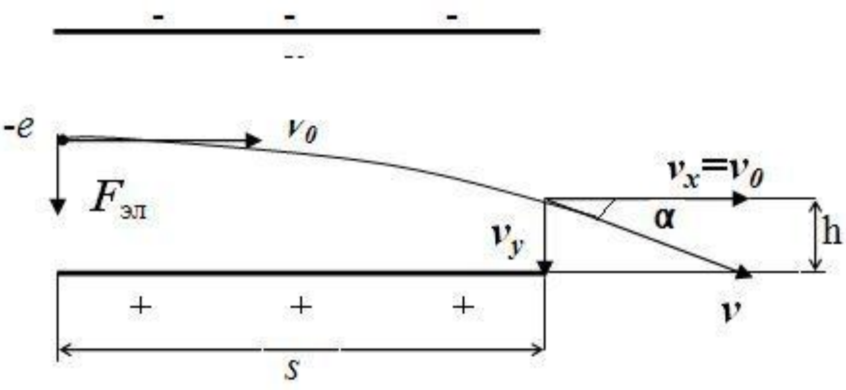
$$\frac{h_p}{h_\alpha} = 2; \quad h_p = 2h_\alpha$$

Задача

Электрон влетает в середину плоского конденсатора со скоростью v_0, направленной параллельно его пластинам. Напряженность поля внутри конденсатора «E», длина пластин S . Определить смещение электрона в момент его выхода из конденсатора. Под каким углом к пластинам будет при этом ле-
теть электрон?

ДАНО:
$v_{0,}$ S, E

$v_{k-?}$h -?
α-?



Физическая картина задачи повторяет предыдущую. Отличие только в отсутствии конкретных числовых данных. Рисунок также аналогичен.

$h = \frac{a*t^2}{2}$ a -?, t -?

qE = ma $a = \frac{qE}{m}$;

$S = v_x * t$ $t = \frac{S}{v_x}$ $h = \frac{\frac{qE}{m} * (\frac{S}{v_x})^2}{2} = \frac{qES^2}{2mv_x^2}$

$v_k = \sqrt[2]{v_x^2 + v_y^2}$ $\quad$ $v_y = at = \frac{qE}{m} * \frac{S}{v_x}$ $\quad$ $v_k = \sqrt[2]{v_x^2 + (\frac{qE}{m} * \frac{S}{v_x})^2}$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{\frac{qE}{m} * \frac{S}{v_x}}{v_x} = \frac{q*E*S}{m*v_{x*v_x}} = \frac{q*E*S}{mv_x^2}$$

$h = \frac{qES^2}{2mv_x^2}$ $\quad$ $v_k = \sqrt[2]{v_x^2 + (\frac{qE}{m} * \frac{S}{v_x})^2}$ $\quad$ $\operatorname{tg}\alpha = \boldsymbol{\frac{q*E*S}{mv_x^2}}$

4.3.3. Движение тела с центростремительным ускорением

4.3.3.1. Движение частицы в магнитном поле под действием силы Лоренца

Задачи данного типа – классический пример использования динамического подхода при решении задач. Сила Лоренца - это сила, действующая на одиночную заряженную движущуюся частицу со стороны магнитного поля. Она является причиной появления у частицы ускорения.
$F_Л$ = qvB $\sin\alpha$ При этом необходимо учитывать, что, если частица движется перпендикулярно вектору магнитной индукции магнитного поля, то сила Лоренца также перпендикулярна скорости (правило левой руки) и сообщает частице центростремительное ускорение: $a_{цс} = \frac{v^2}{r}$
В этом случае $\sin 90° = 1$ и сила Лоренца вычисляется по формуле
$F_Л$ = qvB. Важной особенностью является то, что частица, описывая окружность, движется с постоянной по модулю скоростью. Длина окружности S равна 2πr. Соответственно скорость движения частицы можно вычислить по формуле :
V = $\frac{2\pi r}{T}$, где r - радиус окружности, описываемой частицей, T – период обращения частицы.

Задача

Электрон влетает перпендикулярно направлению магнитного поля с индукцией $2{,}85*10^{-2}$Тл со скоростью 10^6м/с. Определить модуль изменения скорости за промежуток времени $2{,}1*10^{10}$с.

ДАНО:	
B = $2{,}85*10^{-2}$ Тл	Поскольку электрон можно принять за материальную точку, то к нему применим динамический подход.
V = 10^6 м/с	Электрон изменяет свою скорость под действием
t = $2{,}1*10^{10}$ с	силы Лоренца. Соответственно, основным уравнением,
Δv - ?	выражающем причинно-следственную связь данной

физической ситуации, является 2-й закон Ньютона:

$F_Л = ma$ $q\,v\,B = ma$ $a = \frac{\Delta v}{t}$ $q\,v\,B = m\frac{\Delta v}{t}$

$\Delta v = \frac{q\,v\,B\,t}{m} = \frac{1{,}6*10^{-19}*10^{6}*2{,}85*10^{-2}*2{,}1*10^{-10}}{9{,}1*10^{-31}} = 1*10^{6}$(м/с)

$\Delta v = 1*10^{6}$м/с

Задача

В магнитном масс-спектрометре заряженная частица движется по окружности в однородном магнитном поле с индукцией 50мТл, делая один оборот за 938мкс. Чему равно отношение заряда частицы к её массе?

ДАНО:

$B = 50$ мТл$=50*10^{-3}$Тл

$T = 638$ мкс $=628*10^{-6}$с

$\frac{q}{m}$ - ?

$F_Л = ma_{цс}$ $F_Л = q\,v\,B$

$q\,v\,B = ma_{цс}$ $a_{цс} = \frac{v^2}{r}$

$q\,v\,B = m\frac{v^2}{r}$ $q\ B = m\frac{v}{r}$

$V = \frac{S}{T} = \frac{2\pi r}{T}$ $qB = \frac{\frac{2\pi r}{T}}{r} = m\frac{2\pi r}{Tr} = m\frac{2\pi}{T}$ $qB = m\frac{2\pi}{T}$

$\frac{q}{m} = \frac{2\pi}{BT} = \frac{2*3{,}14}{50*10^{-3}*628*10^{-6}} = 2*10^{5}$(Кл/кг)

$\frac{q}{m} = 2*10^{5}$Кл/кг

Задача

В магнитном масс-спектрометре одноразово ионизированная частица движется со скоростью 956км/с по окружности диаметром 20см в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Найти массу частицы. Какая это частица?

ДАНО:

$V = 956$ км/с$=956*10^{3}$ м/с

$d = 20$ см$=0{,}2$м

$B = 0{,}1$ Тл

m - ?

$qvB = m\frac{v^2}{r}$ $qB = m\frac{v^2}{r}$

$m = \frac{qBr}{v} = \frac{1{,}6*10^{-19}*0{,}1*0{,}1}{956*10^{3}} \approx 1{,}7*10^{-27}$ (кг)

$m = 1{,}7*10^{-27}$ кг (протон)

При решении задачи учитывалось, что одноразово ионизированная частица имеет заряд электрона, а радиус описываемой окружности равен половине диаметра окружности. Как и в предыдущих задачах, причиной появления центростремительного ускорения частицы является сила Лоренца.

Задача

Частица, имеющая заряд q и массу m движется в однородном магнитном поле с индукцией B перпендикулярно линиям индукции. Определите период обращения частицы в магнитном поле.

Дано:	Период обращения частицы T – это время одного оборота
q ,m, B	частицы. Для его определения учтем, что частица движется по
T -?	окружности. Для его определения учтем, что частица движется

по окружности с постоянной по модулю скоростью. Длина окружности находится по формуле $S = 2\pi r$. С другой стороны $S = vT$

$T = \frac{S}{v} = \frac{2\pi r}{v}$ В данной формуле неизвестны ни радиус описываемой окружности, ни скорость движения. Скорость движения частицы входит в формулу расчета центростремительного ускорения, которое приобретает частица под действием силы Лоренца.

$F_Л = ma_{цс}$ $F_Л = q\,v\,B$ $q\,v\,B = ma_{цс}$ $a_{цс} = \frac{v^2}{r}$

$q\,v\,B = m\frac{v^2}{r}$ $q\;B = m\frac{v}{r}$ $v = \frac{qBr}{m}$

Подставляя выражение для нахождения v в формулу вычисления периода, получаем:

$T = \frac{2\pi r}{\frac{qBr}{m}} = \frac{2\pi rm}{qBr} = \frac{2\pi rm}{qBr} = \frac{2\pi m}{qB}$

$T = \frac{2\pi m}{qB}$

Задача

Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией 4мТл. Найдите период обращения электрона.

Дано:	Физическая картина задачи полностью аналогична
$B = 4$ мТл$=4*10^{-3}$ Тл	предыдущей со всеми её особенностями. Отличие -
T - ?	только в знании численного значения вектора маг-

нитной индукции.

$T = \frac{2\pi r}{v}$ v - ? $F_Л = ma_{цс}$ $q\,v\,B = ma_{цс}$ $a_{цс} = \frac{v^2}{r}$

$q\,v\,B = m\frac{v^2}{r}$ $q\;B = m\frac{v^2}{r}$ $v = \frac{qBr}{m}$ $T = \frac{2\pi r}{\frac{qBr}{m}} = \frac{2\pi rm}{qBr} = \frac{2\pi rm}{qBr} = \frac{2\pi m}{qB}$

$T = \frac{2\pi m}{qB} = \frac{2*3{,}14*9{,}1*10^{-31}}{1{,}6*10^{-19}*4*10^{-3}} = 8{,}9*10^{-9}$(Тл) = 8,9 нТл

Задача

Пылинка, заряд которой равен 10 мкКл, а масса равна 1 мг, влетает в однородное магнитное поле и движется по окружности. Индукция магнитного поля равна 1 Тл. Сколько оборотов сделает пылинка за 3,14с?

Дано:	
m =1 мг=1∗10^{-6}кг	$N = \frac{t}{T}$ $T = \frac{S}{v} = \frac{2\pi r}{v}$ r - ?
q = 10 мкКл=10 ∗10^{-6}Кл	$F_Л = ma_{цс}$ $q\,v\,B = ma_{цс}$ $a_{цс} = \frac{v^2}{r}$
B =1 Тл	$q\,v\,B = m\frac{v^2}{r}$ $q\,B = m\frac{v}{r}$
t =3,14с	$r = \frac{mv}{qB}$ $T = \frac{2\pi\frac{mv}{qB}}{v} = \frac{2\pi mv}{qBv} = \frac{2\pi m}{qB}$
N -?	$N = \frac{t}{\frac{2\pi m}{qB}} = \frac{tqB}{2\pi m}$
	$N = \frac{3{,}14*10*10^{-6}*1}{2*3{,}14*1*10^{-6}} = 5$

Задача

Как изменится период обращения частицы в циклотроне при увеличении её скорости в 8 раз?

Дано:	
$V_2 = 8v_1$	$T_1 = \frac{S}{v} = \frac{2\pi r}{v}$ v -?
$\frac{T_2}{T_1}$ - ?	$F_Л = ma_{цс}$ $q\,v\,B = ma_{цс}$ $a_{цс} = \frac{v^2}{r}$
	$q\,v\,B = m\frac{v^2}{r}$ $q\,B = m\frac{v^2}{r}$ $v = \frac{qBr}{m}$ $T_1 = \frac{2\pi r}{\frac{qBr}{m}} = \frac{2\pi rm}{qBr} = \frac{2\pi m}{qB}$

$T_2 = \frac{2\pi m}{qB}$ $\frac{T_2}{T_1} = \frac{\frac{2\pi m}{qB}}{\frac{2\pi m}{qB}} = 1$ *Период от скорости не зависит.*

Задача

Электрон описывает в магнитном поле окружность радиусом 4мм. Скорость электрона 3,6∗10^{6}м/с. Найти индукцию магнитного поля.

Дано:	
R = 4мм=4∗10^{-3}м	$F_Л = ma_{цс}$ $q\,v\,B = m\frac{v^2}{r}$ $q\,B = m\frac{v^2}{r}$
V = 3,6∗10^{6}м/с	$B = \frac{mv}{qr} = \frac{9{,}1*10^{-31}*3{,}6*10^{6}}{1{,}6*10^{-19}*4*10^{-3}} = 5{,}1*10^{-3}$ (Тл)
B -?	B =5,1∗10^{-3} Тл

Задача

Электрон движется по окружности радиуса 2 см в однородном магнитном поле с индукцией 0,02 Тл. Найти импульс электрона.

Дано: СИ

$r = 2$ см$=2*10^{-2}$м

$B = 0{,}02$ Тл

p -?

$p = mv$ v - ?

$qvB = m\frac{v^2}{r}$ $qB = m\frac{v}{r}$

$V = \frac{qBr}{m}$ $p = m\frac{qBr}{m} = qBr$

$p = 1{,}6*10^{-19}*0{,}02*2*10^{-2}$ (кг*м/с)

$p = 6{,}4*10^{-23}$ (кг*м/с) $p = 6{,}4*10^{-23}$ кг*м/с

Задача

Радиус окружности, по которой движется электрон в однородном магнитном поле при увеличении индукции поля в 2 раза и увеличении скорости частицы в 2 раза ?

Дано:

$B_2 = 2B_1$

$V_2 = 2v_1$

$\frac{r_2}{r_1}$ - ?

$qvB = m\frac{v^2}{r}$ $qB = m\frac{v}{r}$ $r = \frac{mv}{qB}$

$r_1 = \frac{v_1}{qB_1}$ $r_2 = \frac{v_2}{qv_2}$ $\frac{r_2}{r_1} = \frac{\frac{v_2}{qv_2}}{\frac{v_1}{qB_1}} = \frac{v_2*qB_1}{v_1*q*v_2} = \frac{v_2*B_1}{v_1*B_2} = \frac{2v_1*B_1}{v_1*2B_1} = 1$

$\frac{r_2}{r_1} = 1$ радиус не изменится

Задача

В однородном магнитном поле с индукцией B вращается частица массой m, имеющая заряд q. Как изменится радиус окружности, если индукция уменьшится в 2 раза, заряд не изменится, а масса возрастет в 3 раза?

Дано:

$B_2 = 0{,}5B_1$

q = const

$m_2 = 3m_1$

$\frac{r_2}{r_1}$ - ?

Физическая картина задачи аналогична предыдущей.

Сила Лоренца является причиной появления у частицы $a_{цс}$. Тем не менее, математический вывод может быть и другим: $F_Л = m\frac{v^2}{r}$, $qv_1B_1 = m\frac{v_1^2}{r_1}$, $q\,v_2\,B_2 = m_2\frac{v_2^2}{r_2}$

$\frac{qv_{1B_1}}{qv_{2B_2}} = \frac{m_1\frac{v_1^2}{r_1}}{m_2\frac{v_2^2}{r_2}} = \frac{m_1*v_1^2*r_2}{m_2*v_2^2*r_1} = \frac{m_1*v_1^2*r_2}{3m_1*v_2^2*r_1}$

$\frac{qv_{1B_1}}{qv_{20,5B_1}} = \frac{m_1*v_1^2*r_2^2}{3m_1*v_2^2}$ $\frac{B_1}{0{,}5B_1} = \frac{v_1*r_2}{3*v_2*r_1}$ $\frac{B_1}{0{,}5B_1} = \frac{r_2}{3r_1}$ $2 = \frac{r_2}{3r_1}$ $6 = \frac{r_2}{r_1}$

$\frac{r_2}{r_1} = 6$ Радиус увеличится в 6 раз.

Задача

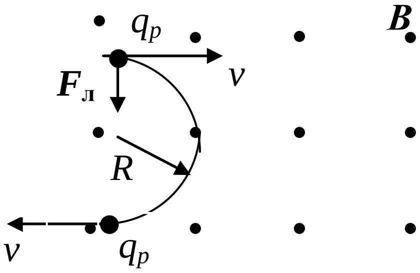
Протон и α-частица, имеющие одинаковые скорости, влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Как связаны между собой радиусы окружностей, по которым движутся частицы? $m_\alpha = 4m_p$ $q_\alpha = 2q_p$

Дано:	
	$F_Л = ma_{цс}$ $\quad q_\alpha B v_\alpha = \frac{m_\alpha v^2}{r_\alpha}$ $\quad q_p B v_p = \frac{m_p v^2}{r_p}$
$m_\alpha = 4m_p$	$\frac{q_\alpha B v_\alpha}{q_p B v_p} = \frac{\frac{m_\alpha v^2}{r_\alpha}}{\frac{m_p v^2}{r_p}} = \frac{m_\alpha v^2 r_p}{m_p v^2 r_\alpha}$ $\quad -\frac{q_\alpha}{q_p} = \frac{m_\alpha r_p}{m_p r_\alpha}$
$V\alpha = V_p$	$\frac{2q_p}{q_p} = \frac{4m_p r_p}{m_p r_\alpha}$ $\quad 2 = \frac{4r_p}{r_\alpha}$ $\quad \frac{r_p}{r_\alpha} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$
$q_\alpha = 2q_p$	$\frac{r_p}{r_\alpha} = \frac{1}{2}$
$\frac{r_p}{r_\alpha}$ -?	

Задача

Протон влетает в область однородного магнитного поля перпендикулярно линиям индукции и границам области. Если через 1мс он вылетает из области в направлении, противоположном первоначальному движению, то индукция магнитного поля равна….

ДАНО:
t=1 мс=10^{-3} с
$m_p=1{,}67\cdot10^{-27}$ кг
$q_p=1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл
B=?



Согласно условию задачи протон опишет полуокружность.

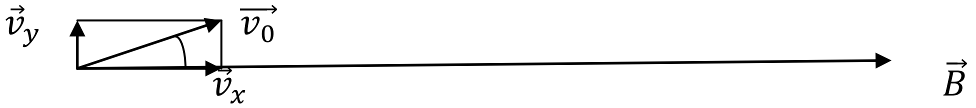
$F_л = m_p \frac{v^2}{R}$, $F_л = q_p v B$ $\quad q_p v B = m_p \frac{v^2}{R}$ $\quad q_p B = m_p \frac{v}{R}$ $\quad B = m_p \frac{v}{R q_p}$

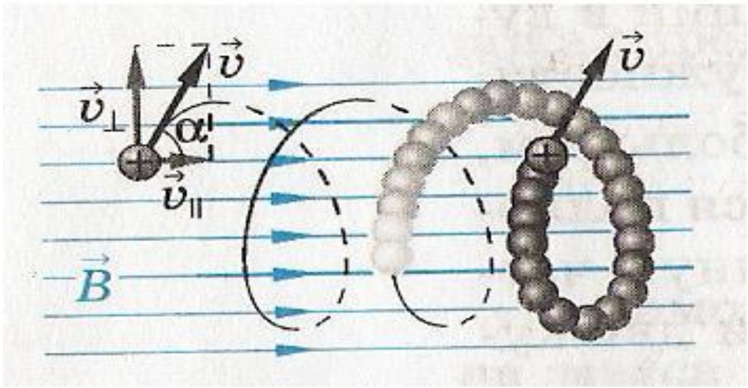
Скорость протона можно найти, как $v = \frac{\pi R}{t}$, $B = m_p \frac{\pi}{t q_p}$

Подставив числовые данные, получим B=0,32 мкТл .

4.3.3.2. *Винтовое движение частицы в однородном магнитном поле*

Траектория движения частицы, влетевшей в однородное магнитное поле, будет представлять собой винт в том случае, когда она влетает под каким – либо углом к линиям магнитной индукции.

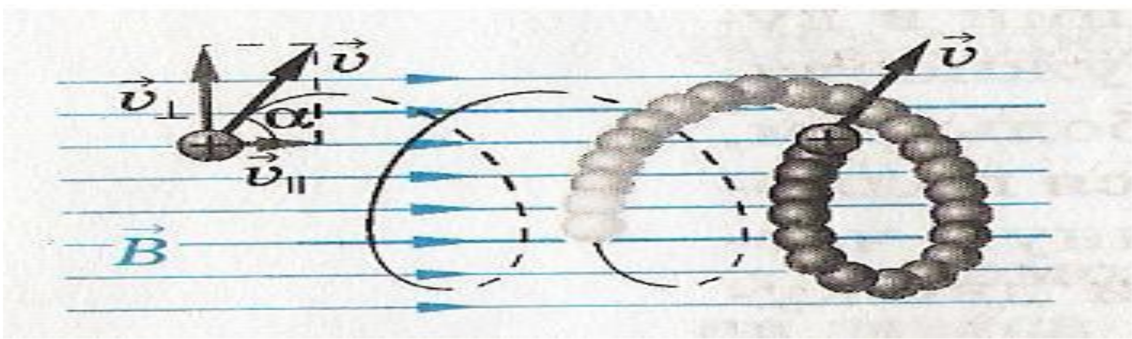




В этом случае скорость частицы раскладывается на 2 перпендикулярные составляющие: $\vec{v}_x$ и $\vec{v}_y$. Перпендикулярная составляющая скорости обусловлена действием силы Лоренца, сообщающей частице центростремительное ускорение. В результате частица должна описывать в этой плоскости окружность. Однако, поскольку частица одновременно двигается горизонтально, то происходит смещение частицы в этом направлении, которое получило название шага винта. В горизонтальном направлении действующей силы нет и частица двигается РПД.

Задача

Частица массой $6{,}7*10^{-27}$кг с электрическим зарядом $3{,}2*10^{-19}$Кл движется со скоростью $4*10^{4}$м/с под углом $\varphi = 60°$ к линиям магнитной индукции однородного магнитного поля Если индукция поля 30мТл, то чему равен шаг спирали, по которой движется частица?



Дано: СИ

$m = 6{,}7*10^{-27}$ кг

$q = 3{,}2*10^{-19}$ Кл

$v = 4*10^4$ м/с

$\varphi = 60°$

B =30 мТл=$30*10^{-3}$Тл

h - ?

Вдоль $\vec{B}$ частица движется с постоянной скоростью v_x, поэтому h = v_xt; T = t

h = $v_x T$, где T – период вращения в вертикальной плоскости.

$T = \frac{2\pi r}{v_y}$ $F_Л = m a_{цс}$ $qBv_y = m\frac{v_y^2}{r}$

$qB = m\frac{v_y}{r}$ $v_y = \frac{qBr}{m}$

$$T = \frac{2\pi r}{\frac{qBr}{m}} = \frac{2\pi rm}{qBr} = \frac{2\pi m}{qB}$$

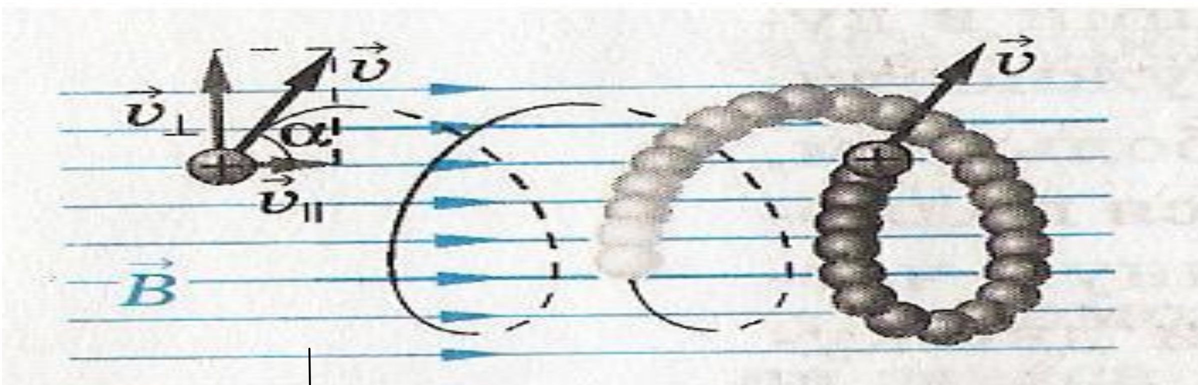
$h = v_x\ \frac{2\pi m}{qB}$ $v_x = \mathrm{v}\cos\varphi$ $h = \mathrm{v}\cos\varphi\ \frac{2\pi m}{qB}$

$h = \frac{2\pi m}{qB}\ \mathrm{v}\cos\varphi = \frac{2*3{,}14*6{,}7*10^{-27}}{3{,}2*10^{-19}*30*10^{-3}}\ 4*10^4*0{,}5 = 8{,}8$(см)

h =8,8см

Задача

Электрон движется со скоростью $5*10^6$ м/с под углом $\varphi = 60°$ к линиям магнитной индукции однородного магнитного поля. Индукция поля 5мТл. Отношение заряда электрона к массе равно $1{,}76*10^{11}$Кл/кг. Найти радиус окружности, описываемой электроном.



ДАНО:

V =$5*10^6$м/с

$\varphi = 60°$

Физическая картина задачи полностью повторяет предыдущую.

$F_Л = m a_{цс}$ $qBv_y = m\frac{v_y^2}{r}$

B =5 мТл=5∗10^{-3}Тл $\qquad$ qB = m $\frac{v_y}{r}$ $\qquad$ r = $\frac{mv_y}{qB}$

$\frac{q}{m}$ = 1,76∗10^{11}Кл/кг $\qquad$ v_y = vsin φ

r-?

$$r = \frac{mv\sin\varphi}{qB} = \frac{1}{\frac{q}{m}} * \frac{v\sin\varphi}{B} = \frac{1}{1,76*10^{11}} * \frac{5*10^6*0,5}{5*10^{-3}} = 2,8*10^{-3}(м)$$

r = 2,8∗10^{-3}м

Задача

Протон влетает в однородное магнитное поле со скоростью 10^{3}м/с под углом 60^0 к линиям В. Индукция магнитного поля 10^{-3}Тл. Определить радиус и шаг спиральной линии, по которой будет двигаться протон. Масса протона 1,67∗ 10^{-27}кг, заряд равен заряду электрона.

Дано:
V =10^{3}м/с
B =10^{-3}Тл
α = 60^0

r - ? h -?

Рисунок и физическая ситуация задачи полностью аналогичны предыдущей задаче.

Fл = m$a_{цс}$ $\qquad$ qBv_y = m $\frac{v_y^2}{r}$ $\qquad$ qB = m $\frac{v_y}{r}$

r = $\frac{mv_y}{qB}$ $\qquad$ v_y = vsin α

$$r = \frac{mv\sin\alpha}{qB} = \frac{1,67*10^{-27}*10^3*0,866}{1,6*10^{-19}*10^{-3}} = 0,9*10^{-2} = 9*10^{-3}(м)$$

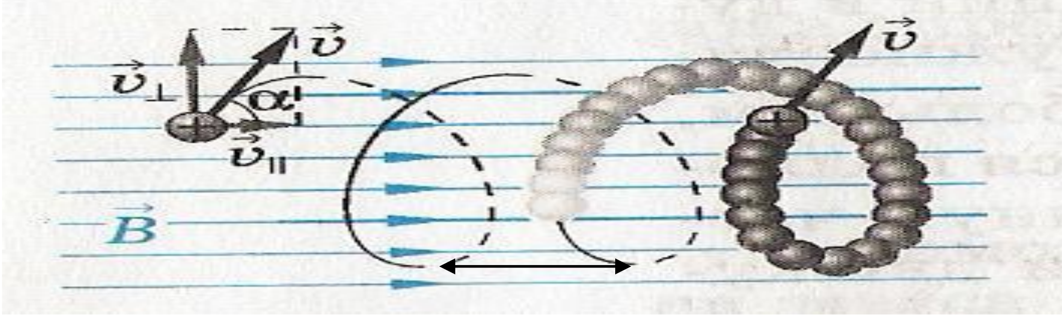
h = v_xt $\qquad$ h = v_xT $\qquad$ T =$\frac{2\pi r}{v_y}$ $\qquad$ h = v_x $\frac{2\pi r}{v_y}$ = v_x $\frac{2\pi r}{v\sin\alpha}$ = vcos α $\frac{2\pi r}{v\sin\alpha}$

$$h = 0,5 * \frac{2*3,14*9*10^{-3}}{10^3*0,866} = 32,6*10^{-3}(м) = 3,26 * 10^{-2}м$$

r =9 ∗10^{-3}м $\qquad$ h = $3,26 * 10^{-2}$м

Задача

Электрон движется в магнитном поле, индукция которого 2мТл, по винтовой линии радиусом 2см и шагом винта 5см. Определите скорость электрона.



Дано:	
B = 2 мТл=2∗10^{-3}Тл	
R = 2 см=2∗10^{-2}м	
h =5 см= $2 * 10^{-2}$м	
v - ?	

Физическая картина задачи похожа на ситуацию задач, в которых требовалось определить смещение частицы под действием электрического поля конденсатора или электронно-лучевой трубки. Здесь также частица участвует в двух движениях: в горизонтальном направлении с постоянной скоростью и равноускоренного движения вниз под действием поля. Разница заключается только в том, что ускорение частица получает под действием магнитного поля под действием силы Лоренца. Конечная скорость получается путем геометрического сложения данных скоростей. Соответственно, для определения её численного значения необходимо использовать теорему Пифагора:

V = $\sqrt[2]{v_x^2 + v_y^2}$ $\quad v_x = \frac{h}{t} = \frac{h}{T}$ $\quad$ T - ?

v_y- ? $\quad v_y = \frac{S}{T}$ $\quad v_y = \frac{2\pi r}{T}$ T - ?

FЛ = m$a_{цс}$ $\quad$ qBv_y = m $\frac{v_y^2}{r}$ $\quad$ qB = m $\frac{v_y}{r}$ $\quad$ qB = m $\frac{\frac{2\pi r}{T}}{r} = m\frac{2\pi r}{Tr} = m\frac{2\pi}{T}$

T = $\frac{m2\pi}{qB} = \frac{9.1*10^{-31}*2*3,14}{1,6*10^{-19}*2*10^{-3}} \approx 17,9*10^{-9}$(c)

$v_y = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2*3,14*2*10^{-2}}{17,9*10^{9}} = 0,7 * 10^7 \left(\frac{м}{с}\right)$ $\quad v_x = \frac{h}{T} = \frac{5*10^{-2}}{17,9*10^{-9}} \approx 0,28*10^7(м/с)$

V = $\sqrt[2]{(0,28 * 10^7)^2 + (0,7 * 10^7)^2} = \sqrt[2]{(2,8 * 10^6)^2 + (7 * 10^6)^2}$ =

=$10^6 * \sqrt[2]{2,8^2 + 7^2}$ =$10^6 * \sqrt[2]{7,84 + 49} = \sqrt[2]{56,84} * 10^6 \approx 7,6 * 10^6$(м/с)

V = $7,6 * 10^6$м/с

4.4. Движение тела под действием нескольких сил

4.4.1. Движение перемычки в магнитном поле

В задачах данного типа имеется несколько особенностей. Здесь рассматривается движение проводника с током (перемычка), и, следовательно, со стороны магнитного поля действует не сила Лоренца, а сила Ампера. Численное значение силы Ампера рассчитывается по формуле

F_A = BIL $\quad$ B – индукция магнитного поля, I – ток, протекающий в проводнике, $\quad$ L – длина проводника

Направление силы Ампера, как и силы Лоренца, определяется по правилу левой руки. Другой особенностью данных задач является необходимость использования знаний о возникновении ЭДС индукции при изменении магнитного потока при движении перемычки в однородном магнитном поле, поскольку данное движение приводит к изменению площади контура, пронизываемое магнитным потоком. ЭДС индукции возможно вычислять по формуле: $\varepsilon_{инд}$ = BvL , где v – скорость движения перемычки, L – длина перемычки.

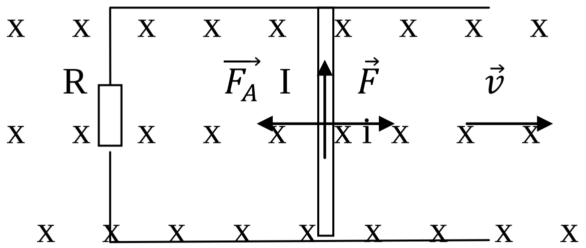
Принцип решения задач данного типа основано на учете 1-го закона Ньютона при условии равномерного движения перемычки. В этом случае на перемычку действует сила тяги, которая компенсируется действием силы Ампера.

Задача

Проводящая перемычка длиной 0,2 м может скользить без трения по проводам, замкнутым на резистор в 2 Ом. Вектор магнитной индукции 0,2 Тл направлен перпендикулярно плоскости движения перемычки. Какую силу надо приложить к перемычке, чтобы она двигалась со скоростью 5м/с? Сопротивлением перемычки и проводящих проводов можно пренебречь.

ДАНО:
L = 0,2 м
R = 22 Ом
B = 0,2 Тл
V = 5м/с

F - ?



На электрический ток в проводнике (поток движущихся электрических зарядов) со стороны магнитного поля действует сила Ампера. Она направлена влево (правило левой руки). Чтобы проводник двигался равномерно и прямолинейно, необходимо чтобы сила тяги действовала в противоположную сторону.

F = F_A $\qquad$ F_A = BIL

При движении проводника увеличивается магнитный поток, пронизывающий изменяющийся контур. По этой причине возникает $\varepsilon_{инд,}$ вызывающая, в свою очередь, индукционный ток.

$I = \frac{\varepsilon_{инд}}{R}$ $\qquad$ $\varepsilon_{инд}$ = BvL $\qquad$ $I = \frac{BvL,}{R}$

F_A = BIL $\qquad$ F_A = BIL $\qquad$ $F_A = B\ \frac{BvL,}{R}\ L = \frac{B^2L^2v}{R}$

$F_A = \frac{0{,}2^2 * 0{,}2^2 * 5}{2}$ = 0,004(Н) = 4 мН

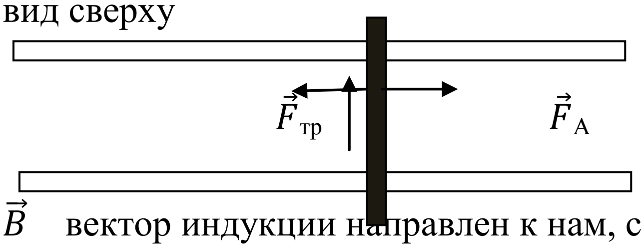
F_A = 4 мН

Задача

Металлический стержень лежит перпендикулярно горизонтальным рельсам, расстояние между которыми 50см. Какой должна быть индукция вертикального магнитного поля, чтобы стержень начал двигаться, если по нему пропустить ток 40 А? Коэффициент трения стержня о рельсы 0,5. Масса стержня 1кг.

Дано:
$L = 50$см$=50*10^{-2}$м
$I = 40$А
$m = 1$кг
$\mu = 0{,}5$
B - ?

$\vec{B}$ ⊙ вид сверху



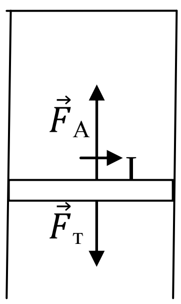
⊙ $\vec{B}$ вектор индукции направлен к нам, с учетом вида сверху

$F_A = F_{тр}$ $ILB = \mu mg$ $B = \frac{\mu mg}{IL} = \frac{0{,}5*1*10}{40*50*10^{-2}} = 0{,}25$Тл
$B = 0{,}25$ Тл

Задача

Два металлических стержня расположены вертикально и замкнуты вверху проводником. По этим стержням без трения и нарушения контакта скользит перемычка длиной 0,5см и массой 1г. Вся система находится в магнитном поле с индукцией 0,01Тл, перпендикулярной плоскости рамки. Установившаяся скорость перемычки 1м/с. Найдите сопротивление перемычки. Сопротивлением стержней и верхнего проводника пренебречь.

Дано:
$m = 1$г$=1*10^{-3}$ кг
$L = 0{,}5$см$=0{,}5*10^{-2}$м
$B = 0{,}01$ Тл
$v = 1$м/с
R - ?



$mg = ILB$ $I = \frac{\varepsilon_{инд}}{R}$ $\varepsilon_{инд} = BvL$ $I = \frac{BvL}{R}$,

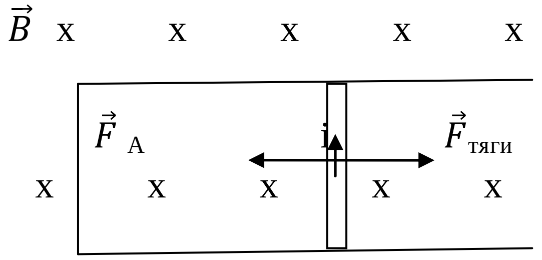
$mg = \frac{BvL}{R}LB$, $mg = \frac{B^2L^2v}{R}$ $R = \frac{B^2L^2v}{mg} = \frac{0{,}01^2*(0{,}5*10^{-2})^2*1}{1*10^{-3}*10} = 0{,}25$(Ом)
$R = 0{,}25$ Ом

Задача

Между двумя горизонтальными параллельными шинами включена лампочка сопротивлением 100 Ом. По шинам без трения может скользить проводящая перемычка длиной 10см. Вся система находится в однородном магнитном поле, индукция которого перпендикулярна плоскости, в которой лежат шины. Индукция равна 0,2Тл. Если перемычку тянуть с силой 10мкН, направленной параллельно шинам, то она движется с постоянной скоростью. Определить эту скорость. Сопротивлением всех элементов цепи, кроме лампочки, пренебречь.

Дано:
R = 100 Ом
L = 10 см=0,1 м
B=0,2Тл
F =10 мкН=10$*$ 10^{-6}Н

V -?



вид сверху

х - вектор индукции направлен от нас

$F_A = F_{тяги}$ $\quad F_{тяги} = ILB$ $\quad I = \frac{\varepsilon_{инд}}{R}$ $\quad \varepsilon_{инд} = BvL$ $\quad I = \frac{BvL}{R}$,

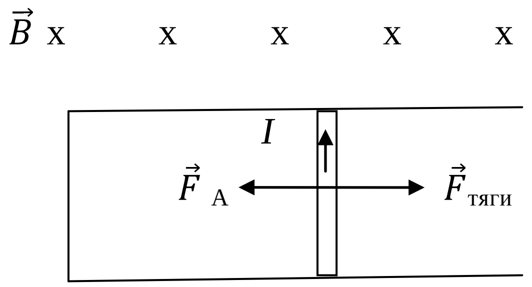
$F_{тяги} = \frac{BvL}{R} LB = \frac{B^2L^2v}{R}$ $\quad V = \frac{F_{тяги} * R}{B^2L^2} = \frac{10*10^{-6}*100}{(0,2)^2*(0,1)^2} = 2,5$(м/с) $\quad$ V = 2,5м/**с**

Задача

Между двумя горизонтальными параллельными шинами включена лампочка сопротивлением 100 Ом. По шинам без трения может скользить проводящая перемычка длиной 10см. Вся система находится в однородном магнитном поле, индукция которого перпендикулярна плоскости, в которой лежат шины. Индукция равна 0,2Тл. Если перемычку тянуть с силой 10мкН, направленной параллельно шинам, то она движется с постоянной скоростью. Определить мощность лампочки. Сопротивлением всех элементов цепи, кроме лампочки, пренебречь.

Дано:
R = 100 Ом
L=10 см=0,1м
B = 0,2 Тл
F =10 мкН=10$*$ 10^{-6}Н

P -?



Физическая ситуация полностью тождественна предыдущей задаче. Отличие заключается в нахождении другой величины. Для её нахождения необходимо знание дополнительной формулы расчета мощности P.

$P = I^2R$ $\quad$ I -?

Для нахождения тока возможно воспользоваться знанием силы Ампера.

$F_A = F_{тяги}$ $F_{тяги} = ILB$ $I = \frac{F_{тяги}}{LB}$

$P = I^2R = \frac{F_{тяги}^2}{(0,2)^2*(0,1)^2} *100 = 2500*10^{-8}(Вт) = 25*10^{-6}$ мкВт

$P = 25*10^{-6}$ мкВт

4.5. Комбинированные задачи

Задача

Заряженная частица движется через скрещенные под прямым углом однородные электрическое и магнитное поля равномерно и прямолинейно. Если напряженность электрического поля 0,5кВ/м, а индукция магнитного поля 1мТл, то чему равна скорость частицы?

Дано:	
E =0,5 кВ/м=0,5$*10^3$В/м B=1 мТл=1$*10^{-3}$Тл	По условию задачи, частица движется равномерно и прямолинейно, что возможно только при условии компенсации действующих на
V?	неё сил (1-ый закон Ньютона). На частицу дейст-

вует только 2 силы. Одна сила со стороны магнитного, а другая – со стороны электрического поля. Следовательно, сила Лоренца должна быть направлена противоположно полю E. Таким образом, можно записать:$F_{эл}=F_Л$ $qE = qBv$ $E = Bv$ $v = \frac{E}{B}$ $v = \frac{0,5*10^3}{1*10^{-3}} = 5*10^5$ (м/с)

Задача

Электрон ускоряется однородным электрически полем, напряженность которого 1,6кВ/м. Пройдя в электрическом поле некоторый путь, он влетает в однородное магнитное поле и начинает двигаться по окружности радиусом 2мм. Какой путь прошел электрон в электрическом поле? Индукция магнитного поля 0,03 Тл. Начальная скорость электрона равна нулю.

Дано:	
E = 1,6 кВ/м=1,6·10^3В/м B = 0,03 Тл r = 2 мм=2$*10^3$м $v_0 = 0$	По условию задачи требуется определить пройденный путь. Поскольку не известно время движения, то можно воспользоваться формулой: $S = \frac{v_k^2 - v_0^2}{2a} = \frac{v_k^2}{2a}$ a - ?
S - ? V_k - ?	$qE = ma$, $a = \frac{qE}{m}$ $a = \frac{1,6*10^{-19}*1,6*10^3}{9,1*10^{-31}} = 0,28*10^{15}$м/с^2

$F_Л = ma_{цс}$ $F_Л = m\frac{v_k^2}{r}$ $qBv = m\frac{v_k^2}{r}$ $qB = m\frac{v_k}{r}$ $v = \frac{qBr}{m}$

$v = \frac{1,6*10^{-19}*0,03*2*10^{-3}}{9,1*10^{-31}} = 0,01*10^9$(м/с)

$S = \frac{(0,01*10^9)^2}{2*0,28*10^{15}} \approx 0,1976$(м) $\approx 19,8$(см)

S = 19,8 см

Задача

Частица массой 10мг и зарядом 1мкКл ускоряется однородным электрическим полем напряженностью 10 кВ/м в течение 10с. Затем она влетает в однородное магнитное поле с индукцией 2,5Тл, силовые линии которого перпендикулярны скорости частицы. Найти силу, действующую со стороны магнитного поля. Начальная скорость частицы равна нулю.

Дано:	$F_Л = qBv$ v -? qE = ma $qE = m\frac{v_k - v_0}{t}$
$m = 10$ мг$=10*10^{-6}$г	
$q = 1$ мкКл$=1*10^{-6}$Кл	$v_k = \frac{qEt}{m}$ $F_Л = qB\frac{qEt}{m} = \frac{q^2BEt}{m}$
$E = 10$ кВ/м$=10*10^3$В/м	$F_Л = \frac{(1,6*10^{-19})^2*2,5*10*10^3*10}{10*10^{-6}} \approx 25*10^{-3}$(Н)
t = 10c	$F_Л = 25$ мН
B =2,5Тл	
$V_0 = 0$	
$F_Л$ - ?	

Задача

Частица, имеющая заряд q и массу m движется по окружности радиусом r в однородном магнитном поле индукцией B. Чему равна кинетическая энергия частицы?

Дано:	E_k - ? $E_k = \frac{mv^2}{2}$ v - $F_Л = ma_ц$ $F_Л = m\frac{v^2}{r}$ $F_Л = qBv$
q, m, B, r	$qBv = m\frac{v^2}{r}$ $qB = m\frac{v}{r}$ $v = \frac{rqB}{m}$
E_k -?	$E_k = \frac{m*\frac{r^2q^2B^2}{m^2}}{2} = \frac{r^2q^2B^2}{2m}$

$E_k = \frac{r^2q^2B^2}{2m}$

Задача

Определить радиус окружности, по которой движется электрон в камере Вильсона, помещенный в магнитное поле с индукцией 0,007Тл, если энергия электрона равна $3,9*10^3$эВ.

Дано: $F_Л = ma_{цс}$ $F_Л = m\frac{v^2}{r}$ $F_Л = qBv$

B = 0,007 Тл $qBv = m\frac{v^2}{r}$ $qB = m\frac{v}{r}$

$E = 3,9 * 10^3$ эВ=$6,24 \cdot 10^{-16}$Дж $r = \frac{mv}{qB}$ v - ?

r - ? $E_k = \frac{mv^2}{2}$ $v = \sqrt[2]{\frac{2E}{m}}$ $r = \frac{m\sqrt[2]{\frac{2E}{m}}}{qB} = \frac{m\sqrt[2]{2E}}{\sqrt[2]{m}*qB}$

$r = \frac{9,1*10^{-31}\sqrt[2]{2*3,9*10^3*1,6*10^{-19}}}{\sqrt[2]{9,1*10^{-31}}*1,6*10^{-19}*0,007} = 0,03$(м)

r = 0,03м

Задача

Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 600В, влетает в однородное магнитное поле с магнитной индукцией 0,3Тл и движется по окружности. Найти радиус окружности. Будет ли изменяться энергия протона при движении в магнитном поле?

Дано:

U = 600В

B = 0,3Тл

r - ?

$F_Л = ma_{цс}$ $F_Л = m\frac{v^2}{r}$ $F_Л = qBv$

$qBv = m\frac{v^2}{r}$ $qB = m\frac{v}{r}$

$r = \frac{mv}{qB}$ v - ?

$qU = \frac{mv^2}{2}$ $v = \sqrt[2]{\frac{2qU}{m}} = \sqrt[2]{\frac{2*1,6*10^{-19}*600}{1,67*10^{-27}}} = 33,9*10^4$(м/с)

$r = \frac{mv}{qB} = \frac{1,67*10^{-27}*33,9*10^4}{1,6*10^{-19}*0,3} \approx 1,179 * 10^{-2} \approx 1,2* 10^{-2}$(м)

$r = 1,2 * 10^{-2}$м

Энергия не измениться, т.к. работа любой силы, в том числе и силы Лоренца, направленной перпендикулярно скорости движения частицы, равна нулю.

Задача

Протон влетает в область однородного магнитного поля с индукцией 0,1Тл, где движется по дуге окружности радиусом 4см. Затем протон попадает в однородное электрическое поле так, что движется против направления силовых линий. Какую разность потенциалов должен пройти протон, чтобы его скорость изменилась в два раза?

Дано:

B = 0,1 Тл

$qU = \Delta E_k$ $qU = \frac{mv_k^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \frac{m}{2}(v_k^2 - v_0^2)$

$qU = \frac{m}{2}\{(\frac{1}{2}v_0)^2 - v_0^2\} = \frac{3mv_0^2}{8}$

r= 4 см=4$\cdot 10^{-2}$м qU = $\frac{3mv_0^2}{8}$ U = $\frac{3mv_0^2}{8q}$

$v_k = \frac{1}{2} v_0$ v_0 - ?

$\Delta\varphi - ?$ $F_Л = ma_{цс}$ $F_Л = m\frac{v^2}{r}$ $F_Л = qBv$

$qBv = m\frac{v^2}{r}$ $qB = m\frac{v}{r}$ $v = \frac{qBr}{m}$

$$U = \frac{3*m(\frac{qBr}{m})^2}{8q} = \frac{3mq^2B^2r^2}{m^28q} = \frac{3qB^2r^2}{8m} = \frac{3*1{,}6*10^{-19}*(0{,}1)^2*(4*10^{-2})^2}{8*9{,}1*10^{-31}} = 575(В)$$

U = $\Delta\varphi$ = 575В

Задача

Протон и -частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям. Каково отношение угловой скорости -частицы к угловой скорости протона? $m_\alpha = 4m_p$ $q_\alpha = 2q_p$

Дано: $m_\alpha = 4m_p$, $q_\alpha = 2q_p$

$\frac{\omega_\alpha}{\omega_p}$ - ?

$v = \omega r$ $\omega = \frac{v}{r}$ $\frac{\omega_\alpha}{\omega_p} = \frac{\frac{v_\alpha}{r_\alpha}}{\frac{v_p}{r_p}} = \frac{v_{\alpha}*r_p}{v_p r_\alpha}$

$\frac{\omega_\alpha}{\omega_p} = \frac{v_{\alpha}*r_p}{v_p r_\alpha}$ v_α - ? v_p - ?

$qBv = m\frac{v^2}{r}$ $qB = m\frac{v}{r}$ $v = \frac{qBr}{m}$

$v_\alpha = \frac{q_\alpha B r_\alpha}{m_\alpha}$ $v_p = \frac{q_p B r_p}{m_p}$

$$\frac{\omega_\alpha}{\omega_p} = \frac{v_{\alpha}*r_p}{v_p r_\alpha} = \frac{\frac{q_\alpha B r_\alpha}{m_\alpha}*r_p}{\frac{q_p B r_p}{m_p}*r_\alpha} = \frac{q_\alpha B r_\alpha r_p m_p}{m_\alpha q_p B r_p r_\alpha} = \frac{q_\alpha m_p}{m_\alpha q_p} = \frac{2q_p m_p}{4m_p q_p} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} = 0{,}5$$

$\frac{\omega_\alpha}{\omega_p} = 0{,}5$

Задача

Электрон, ускоренный разностью потенциалов 6кВ, влетает в однородное магнитное поле под углом 30^0 и начинает двигаться по винтовой линии. Индукция магнитного поля $1{,}3 * 10^{-2}$Тл. Найти радиус витка и шаг винтовой линии.

Дано:
U = $6 * 10^3$В
$\alpha = 30^0$
B = $1{,}3 * 10^{-2}$Тл

r - ? d - ?

Подробно физическая картина задачи уже разобрана при рассмотрении движения заряженных частиц по винтовой линии: здесь происходит равномерное прямолинейное движение вдоль горизонтального направления и движения по окружности в вертикальной плоскости под действием магнитного поля.

$F_Л = ma_{цс}$ $\quad F_Л = m\frac{v^2}{r}$ $\quad F_Л = qBv$

$qBv = m\frac{v^2}{r}$ $\quad qB = m\frac{v}{r}$ $\quad r = \frac{mv_y}{qB}$ $\quad v_y = v\sin\alpha$

$r = \frac{mv\sin\alpha}{qB}$ $\quad$ v -?

$A_{поля} = E_к$ $\quad qU = m\frac{v^2}{2}$ $\quad v = \sqrt[2]{\frac{2qU}{m}} = -\sqrt[2]{\frac{2*1{,}6*10^{-19}*6*10^3}{9{,}1*10^{-31}}} = 4{,}6*10^7$(м/с)

$r = \frac{mv\sin\alpha}{qB} = \frac{9{,}1*10^{-31}*4{,}6*10^7*0{,}5}{1{,}6*10^{-19}*1{,}3*10^{-2}} = 10^{-2}$ (м)

$d = v_x t = v_x T = v\cos\alpha T$ $\quad T = \frac{2\pi r}{v_y} = \frac{2\pi r}{v\sin\alpha}$ $\quad \frac{2*3{,}14*10^{-2}}{4{,}6*10^7*0{,}5} \approx 2{,}74*10^{-9}(c)$

$d = 4{,}6*10^7*0{,}866*2{,}74*10^{-9} = 10{,}9*10^{-2}$(м)

$r = 10^{-2}$ м = 1см

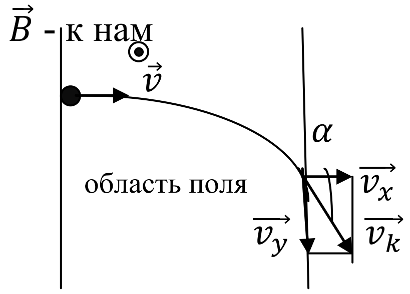
$d = 10{,}9*10^{-2}$м = 10,9 см

Задача

α-частица влетает в область однородного магнитного поля перпендикулярно линиям магнитной индукции и через 1мс вылетает из этой области под углом 30^0 градусов к направлению первоначального движения. Чему равна индукция магнитного поля? $q = 3{,}2*10^{-19}$Кл $\quad m = 6{,}7*10^{-27}$кг

Дано:
$t = 1*10^{-3}$с
$\alpha = 30^0$
$q = 3{,}2*10^{-19}$Кл
$m = 6{,}7*10^{-27}$кг

B - ?



$F_Л = qBv\sin\alpha$ $\quad F_Л = ma$ $\quad$ a - ? $\quad v_{ky} = v_{0y} + at = at$ $\quad a = \frac{v_{ky}}{t}$

v_{ky}- ?

$\tan\alpha = \frac{v_{ky}}{v_x}$ $\quad v_{ky} = v_x\tan\alpha$ $\quad a = \frac{v_x\tan\alpha}{t}$ $\quad F_Л = m\frac{v_x\tan\alpha}{t}$

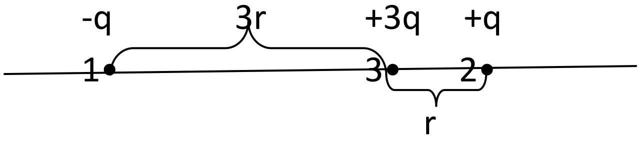
$qBv\sin\alpha = m\frac{v_x\tan\alpha}{t} = m\frac{v_x\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}}{t}$ $\quad qBv = \frac{mv_x}{t*\cos\alpha}$ $\quad B = \frac{mv_x}{t*\cos\alpha*qV} == \frac{m}{t*\cos\alpha*q}$

$$B = \frac{6{,}7 * 10^{-27}}{1 * 10^{-3} * 0{,}866 * 3{,}2 * 10^{-19}} = 2{,}4 * 10^{-5} = 24 * 10^{-6}(\text{Тл}) = 24(\text{мкТл})$$

B = 24 мкТл

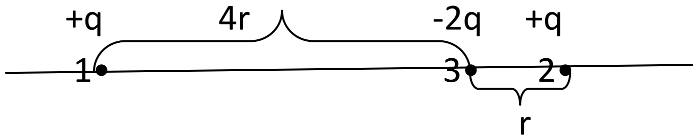
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

№1. Заряды 1 и 2 закреплены, а третий свободен. Что будет происходить с зарядом q_3



1) Перемещаться влево ускоренно
2) Остается в состоянии покоя
3) Перемещается вправо ускоренно

№2. Заряды 1 и 2 закреплены, а третий свободен. Что будет происходить с зарядом q_3



1) Перемещаться влево ускоренно
2) Остается в состоянии покоя
3) Перемещается вправо ускоренно

№3. Заряды 10 и 16 нКл расположены на расстоянии 7мм друг от друга. Какая сила будет действовать на заряд 2нКл, помещенный в точку, удаленную на 3мм от меньшего заряда и на 4мм от большего. (F = 2мН)

№4.Точечные заряды $1{,}0 * 10^{-8}$Кл и $2{,}0 * 10^{-8}$Кл закреплены на расстоянии 1м друг от друга в вакууме. На прямой, соединяющей эти заряды, на одинаковом расстоянии от каждого из них, помещено маленькое тело, несущее заряд $-3 * 10^{-9}$Кл. Каковы модуль и направление силы, действующей на тело? ($\approx 1{,}1 * 10^{-6}$Н, в сторону второго)

№5. Два закрепленных заряда 10нКл и 40нКл находятся на расстоянии 12см друг от друга. Где надо поместить третий заряд, чтобы он находился в равновесии? Найти заряд q_0 и расстояние между зарядами q_1 и q_2 .

(4см от q_1, на прямой между зарядами)

№6. На расстоянии 3м друг от друга расположены два точечных отрицательных заряда q_1 =-18нКл и q_2 =108 нКл. Когда в некоторой точке поместили заряд q_0 , то все три заряда оказались в равновесии. Найти заряд q_0 и расстояние между зарядами. (1м, $12*10^9$Кл)

№7. Два положительных заряда находятся друг от друга на расстоянии 50см в вакууме. Модуль одного из зарядов вдвое больше другого. На прямой, их соединяющей, находится в равновесии заряженный маленький шарик. Определите расстояние этого шарика от большего заряда.
(29,3см).

№8. Два заряда по 25нКл каждый, расположенные на расстоянии 24см друг от друга, образуют электростатическое поле. С какой силой это поле действует на заряд 2нКл, помещенный в точку, удаленную на 15см от каждого из зарядов, если заряды, образующие поле, разноименные?

(32мкН)

№9. Два заряда q_1 = 25нКл и q_2 = - 25нКл, расположенные на расстоянии 24см друг от друга, образуют электростатическое поле. С какой силой это поле действует на заряд -2нКл, помещенный в точку, удаленную от каждого из зарядов, на 15см? (2мкН)

№10. Три одинаковых отрицательных заряда находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной 15см. Сила, действующая на каждый заряд, равна 21,3Н. Найдите величину зарядов. (   )

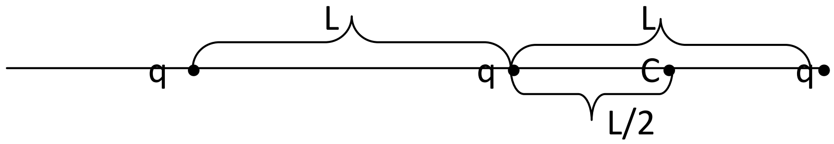
№11.Три одинаковых заряда величиной 10мкКл каждый помещены в вершинах равностороннего треугольника. Сила, действующая на каждый заряд F_0 = -0,02Н. Определите длину r стороны треугольника. (   )

№12. Три отрицательных заряда по 3мкКл каждый расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд q_0 нужно поместить в центре треугольника, чтобы система находилась в равновесии?

($q_0 = \frac{\sqrt[2]{3}}{3} q$; $q_0 = \frac{\sqrt[2]{3}}{3}$ 3 мкКл).

№13. В вершинах квадрата со стороной «а» помещены маленькие шарики с положительным зарядом по $1{,}0 * 10^{-8}$Кл. Какой заряд надо поместить в точке пересечения диагоналей, чтобы вся система находилась в равновесии? ($0{,}95 * 1^8$Кл).

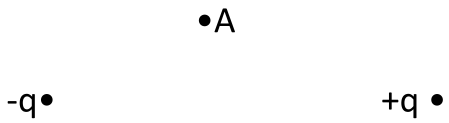
№14. Три равных по величине и знаку заряда расположены в вакууме вдоль прямой на одинаковых расстояниях L друг от друга. Каков модуль напряженности электрического поля, созданного этими зарядами, будет в точке C.



1) $\frac{3q}{4\varepsilon * L^2}$; 2) $\frac{q}{4\pi\varepsilon * L^2}$; 3) $\frac{q}{9\pi\varepsilon L^2}$; 4) $\frac{5q}{4\pi\varepsilon * L^2}$; 5) $\frac{q}{9\pi L^2}$

№15. Куда направлен вектор напряженности в точке А, создаваемого двумя зарядами, равными по величине и противоположными по знаку?

1) вправо; 2) влево; 3) вверх; 4) вниз; 5) равна 0.



№16. Между точечными зарядами 4,0нКл и -5,0нКл расстояние равно 0,6м. Найти напряженность электростатического поля посередине между ними. (0,9 кВ/м).

№17. Два равных по величине и знаку заряда по 10мкКл расположены на расстоянии 12см друг от друга. Каков модуль напряженности электрического поля в точке А, находящейся посередине между этими зарядами? Какой будет напряженность в точке С, лежащей на перпендикуляре, восстановленном из точки А, если АС равно 8см ? (0; 1,44$* 10^7$Н/Кл).

№18. Между зарядами 6,4$* 10^{-6}$ и - 6,4$* 10^{-6}$Кл расстояние равно 12см. Найти напряженность поля в точке, удаленной на 8см от обоих дов. ($\approx$1,4$* 10^7$В/м).

№19. Определить напряженность электрического поля, созданного диполем, в точке на перпендикуляре к плечу диполя на расстоянии 50см от его центра, если заряды диполя 10^{-8} и -10^{-8}Кл, а плечо диполя 5см?
($\approx$ 36,2 В/м).

№20. Точечный заряд, помещенный в начале координат, создает напряженность поля в точках 1 и 2, находящихся на положительной полуоси ОХ, равную соответственно $E_1 = 3,6 * 10^{-5}$ Н/Кл и $E_2 = 1,6 * 10^{-5}$ Н/Кл. Определите напряженность в точке поля С, лежащей посередине между зарядами. (2,3$* 10^{-5}$ Н/Кл).

№21. Два точечных заряда 6,7 и -13нКл находятся на расстоянии 5см друг от друга. Найти напряженность поля в точке, расположенной на расстоянии 3см от положительного заряда и 4см от отрицательного.
(101кВ/м).

№ 22. Заряженная частица массой $2*10^{-9}$г находится в равновесии в однородном электрическом поле напряженностью $4*10^{5}$Н/Кл. Чему равен заряд частицы? ($5*10^{-17}$Кл)

№23. Какую напряженность должно иметь однородное электрическое поле между заряженными горизонтальными пластинами, чтобы сила электрического взаимодействия на частицу массой 0,01г и зарядом $3* 10^{-8}$Кл уравновесила силу тяжести частицы? (2,94$* 10^{4}$ В/м)

№24. Между двумя заряженными горизонтальными пластинами в вакууме находися в равновесии отрицательно заряженная капелька масла. Сколько избыточных электронов находится на капельке, если напряженность электрического поля в конденсаторе равна $2 * 10^{5}$Н/Кл, радиус капельки $1,38 * 10^{-3}$см, плотность масла 0,9 г/см^3. ($N = \frac{4}{3}\frac{\pi g \rho r^3}{e*_E}$)

№25. Капелька масла с 2000 избыточных электронов удерживается в равновесии между двумя горизонтальными пластинами конденсатора. Масса капельки 16нг. Чему равна напряженность электрического поля в конденсаторе? (50кН/Кл).

№ 26. На каком расстоянии от шарика, погруженного в керосин, должна быть расположена пылинка объемом 9мм^3, чтобы она находилась в равновесии? Заряд шарика равен 7нКл, а заряд пылинки равен -2,1 нКл. (см)

№27. Прямолинейный проводник массой 2кг и длиной 50см помещен в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Индукция поля равна 15Тл. Какой силы ток должен проходить по нему, чтобы он висел, не падая? (2,7А)

№28. По горизонтально расположенному проводнику длиной 20см и массой 4г течет ток силой 10А. Найти индукцию магнитного поля, в которое нужно поместить проводник, чтобы сила тяжести уравновесилась силой Ампера? (20мТл)

№29. Два одинаковых шарика висят на нитях на некотором расстоянии друг от друга. Шарикам сообщают одинаковые заряды и помещают в керосин. Определите плотность материала шариков, если ни в пустоте, ни в керосине нити не отклоняются от вертикали. Плотность керосина 0,8г/см^3, диэлектрическая проницаемость равна 2. ($\approx$ 2,74г/см^3).

№30. Тонкая шелковая нить выдерживает максимальное натяжение Т =9,8 $*10^{-3}$Н. Подвешенный на этой нити шарик массой 0,6г имеет заряд 10,67 $*10^{-9}$Кл. Снизу в направлении линии подвеса к нему подносят шарик, имеющий заряд -13.4 $*10^{-9}$Кл. На каком расстоянии r между ними нить разорвется? ($\sqrt[2]{\frac{q_{1*q_2}}{T-mg}}$ = 1,8см).

№31. Маленький шарик массой $3*10^{-4}$кг подвешен на тонкой невесомой нити и имеет заряд $3*10^{-7}$Кл. Каким станет натяжение нити Т, если снизу на одной вертикали к нему на расстоянии 0,3м поднести другой шарик с одноименным зарядом $5*10^{-8}$Кл? ($1,5*10^{-3}$Н).

№32. Два одинаковых заряженных шарика, имеющих массу 0,5г каждый и подвешенные на нитях длиной по 1м, разошлись на 4см друг от друга. Найти заряд каждого шарика. ($q_1 = q_2$ = 4,2нКл).

№33. Два одинаковых небольших шарика массой по 0,1г каждый подвешены на нитях длиной 25см. После того, как шарикам были сообщены одинаковые заряды, они разошлись на расстояние 5см. Определите заряды шариков. ($q_1 = q_2 \approx$ 5,2нКл).

№34. Два одинаковых заряженных шарика висят на нитях одинаковой длины по 47,9 см . Угол между нитями шариков 90^0, массы шариков 2г Найдите заряд шариков. ($q_1 = q_2$ = 1мкКл).

№35 .Два одинаковых маленьких шарика массой по 100г каждый подвешены в воздухе на тонких шелковых нитях длиною по 2м. Шарикам сообщен заряд -10^{-6}Кл. Определите, на какое расстояние разойдутся шарики. (9,7см).

№36. Два одинаковых маленьких шарика массой по 0 1г каждый подвешены в одной точке на шелковых нитях длиною по 20см. Какие заряды следует сообщить шарикам, чтобы каждая нить составляла с вертикалью угол, равный 30^0? ($q_1 = q_2 = \frac{l}{2}$ mg).

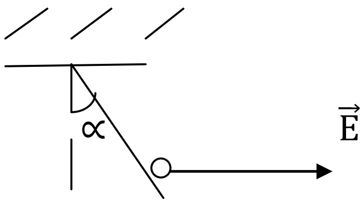
№37. Шарик, имеющий заряд 1,7 мкКл и массу 0,3г , помещен в однородное электрическое поле напряженностью 10^3В/м. На какой угол отклонится нить шарика? ($\alpha \approx 30^0$)

№38.Прямой проводник, длина которого 10см, масса 10г, подвешен горизонтально на двух легких нитях в однородном магнитном поле. Линии индукции магнитного поля направлены горизонтально и перпендикулярно проводнику. Сила тока, протекающая по проводнику 4,2А. Индукция магнитного поля 0,1Тл. Найти силу натяжения нити. (0,07Н)

№39. В однородном электрическом поле напряженностью 1мН/Кл направленной вверх под углом 30^0 к вертикали, висит на нити шарик массой 2г, несущий заряд 10нКл. Найдите силу натяжения нити.

(Т = $\sqrt[2]{(mg)^2 - 2mgqE\cos\varphi + (qE)^2}$)

№40. Какой угол с вертикалью составит нить, на которой висит шарик с зарядом 8мкКл и массой 30мг, если поместить его в однородное горизонтальное электрическое поле напряженностью 35Н/Кл?



($tg\,\alpha = \frac{qE}{mg}$)

№ 41. Прямой проводник, длина которого 10см, масса 10г, подвешен горизонтально на двух легких нитях в однородном магнитном поле, линии индукции которого направлены вертикально. На какой угол отклоняются нити от вертикали при пропускании по ним тока? Индукция магнитного поля, 0,1Тл, сила тока в проводнике9,8А.

($\alpha = 45^0$)

№42. Проводник, длина которого L и масса m, подвешен на тонких проволочках. При прохождении по нему тока I он отклонился в однородном магнитном поле так, что нити образовали угол α с вертикалью. Какова индукция магнитного поля? ($B = \frac{mg\,\mathrm{tg}\,\alpha}{IL}$)

№43. Электрон влетает в однородное электрическое поле со скоростью 10^5м/с. Вектор скорости направлен в сторону, противоположную направлению силовых линий. Область поля протяженностью 1,1м он пролетает за время, равное 10^{-6}с. Определить напряженность (11,4Н/Кл)

№44. Электрон, имеющий скорость 10^6м/с, начинает разгоняться электрическим полем, напряженность которого параллельна скорости и равна по модулю $2*10^3$Н/Кл. Сколько времени нужно электрону, чтобы увеличить свою скорость в 8 раз? (20нс)

№45. Какую скорость разовьет в электрическом поле Е протон с удельным зарядом q/m, пройдя в направлении силовых линий путь d ? Начальная скорость протона равна нулю. ($v_k = \sqrt[2]{\frac{2dqE}{m}}$)

№46. Заряженное тело массой 5мг падает в электрическом поле напряженностью 1кВ/м. Вектор напряженности направлен вертикально вниз. Определить ускорение падающего тела, если его заряд 20нКл.

1) 4м/с^2; 2)6 м/с^2; 3)10м/с^2; 4)14м/с^2; 5) 24м/с^2;

№46. Электрон, помещенный в однородное электрическое поле движется с ускорением $1{,}6 * 10^{14}$ м/с^2. Заряд электрона $1{,}6 * 10^{-19}$Кл, масса $9{,}1 * 10^{-31}$кг. Определите напряженность поля.

1) 0,11кВ/м; **2) 0,91кВ/м;** 3)1,4кВ/м; 4) 2,33кВ/м; 5) 5,69кВ/м;

№47. В плоский конденсатор параллельно его пластинам со скоростью $3*10^7$м/с влетает электрон. При вылете из конденсатора он смещается к одной из пластин на $8{,}76*10^{-3}$м. Длина каждой пластины конденсатора равна 3см. Расстояние между пластинами равно 2см. Напряженность электрического поля $2*10^4$Н/Кл. Определите отношение заряда электрона к его массе. ($1{,}76 *10^{11}$Кл/кг)

№48. В пространство между вертикально отклоняющими пластинами кинескопа телевизора влетает электрон со скоростью $6*10^7$м/с, направленной параллельно его пластинам. На какое расстояние по вертикали отклонится электрон за время его движения между пластинами? Длина пластин 5см, расстояние между ними 2см, разность потенциалов 650В.

(2мм)

№49. Протон попадает в однородное магнитное поле с индукцией В. Чему равен период обращения протона? (Т = $\frac{2\pi m}{qB}$)

№50. Протон попадает в поперечное магнитное поле с индукцией В. Сколько оборотов он успеет сделать в этом поле за время t? (N = $\frac{qB}{2\pi m}$)

№51. Определить частоту обращения электрона по круговой орбите в магнитном поле, индукция которого 0,3Тл. (8,4$*10^{-9}$Гц)

№52. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью под углом к вектору магнитной индукции В. Определить радиус и шаг винтовой линии, по которой будет двигаться электрон. (r = $\frac{mv}{qB}\sin\alpha$; d = $\frac{2\pi mv}{qB}\cos\alpha$)

№ 53. Электрон движется в магнитном поле, индукция которого равна 2мТл, по винтовой линии радиусом 2см и шагом винта 5см. Определить скорость электрона. ($\approx$7,6$*10^6$м/с)

№54. Электрон влетает в магнитное поле под углом 30^0 к направлению силовых линий. Найти радиус винтовой линии, по которой движется электрон, если индукция магнитного поля 5мТл, а q/m = 1,76$*10^{11}$Кл/кг.(2,8мм)

№55. Горизонтальные рельсы находятся на расстоянии 30см друг от друга. На них лежит стержень, перпендикулярный рельсам. Какой должна быть индукция магнитного поля для того, чтобы стержень начал двигаться, когда по нему пропускается ток 50А? Коэффициент трения о рельсы 0,2. Масса стержня 0,5кг. ($\approx$ 0, 067Тл)

№56. Система проводников образует горизонтально расположенный каркас, помещенный в магнитное поле В, перпендикулярном его плоскости. Длина подвижного проводника АВ равна l, его сопротивление R. Сопротивление остальной части каркаса пренебрежимо мало. Какую силу нужно прикладывать к проводнику, чтобы двигать его с постоянной скоростью? Трением пренебречь. (F = $\frac{vB^2l^2}{R}$)

№ 57 .Однородное электрическое поле и магнитное поле расположены взаимно перпендикулярно. Напряженность электрического поля 1кВ/м, а индукция магнитного поля 1мТл. Какими должны быть направление и скорость электрона, чтобы траектория его движения оказалась прямолинейной? (1000км/с)

№58. Определить радиус окружности, по которой движется электрон в камере Вильсона, помещенной в магнитное поле с индукцией 0,021Тл, если энергия электрона $3,9*10^3$эВ? (0,01м)

№59. Пройдя ускоряющую разность потенциалов 3,52кВ, электрон вылетает в однородное магнитное поле с индукцией 0,01Тл перпендикулярно линиям индукции и движется по окружности радиуса 2см. Вычислите отношение величины заряда электрона к его массе. ($1,76*10^{11}$Кл/кг)

№60. Протон и -частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определить отношение радиусов окружностей, которые описывают частицы, если их энергии одинаковы. ($\frac{r_\alpha}{r_p} = 1$)

№61. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью 10^6м/с . Индукция магнитного поля 0,312Тл. Радиус окружности 4см. Найдите заряд частицы, если кинетическая энергия равна $2*10^{-15}$Дж. ($3,2*10^{-19}$Кл).

Библиографический список

1. Балаш, В. А. Задачи по физике и методы их решения. Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1994.- 430с.
2. Бендриков, Г. А. Задачи по физике для поступающих в вузы. М.: Наука.- 200. 384 с
3. Волков, В. А. Поурочные разработки по физике: 11 класс. – М.: Вако.2006. – 464 с
4. Гурский, В. П. Элементарная физика с примерами решения задач. – М, 1993. 368 с
5. Волков, В. А. Поурочные разработки по физике: 10 класс. – М.: Вако.2008. – 464 с
6. Громов, С.В. Физика: Учеб. Для 10 кл. общеобразовательных учреждений / С.В. Громов; под ред. Н. В. Шароновой. – 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 2008.- 383с.
7. Громов, С.В. Физика: Учеб. Для 11 кл. общеобразовательных учреждений / С.В. Громов; под ре. Н. В. Шароновой. – 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 2008.- 383с.

8. Единый государственный экзамен 2002: Контрольно-измерительные материалы: Физика / сост. В.А. Орлов. – М.: Просвещение, 2003. – 222 с
9. Иванова, Е. О.Теория обучения в информационном обществе. – М.: Просвещение, 2011.- 190с.
10. Касаткина, И.Л.Репетитор по физике / И.Л. Касаткина. – 5-е изд., перераб. и допол. / под ред. Т.В. Шкиль – М.: Ростов н / Д: Феникс, 2006.- 848с.
11. Касьянов, В.А. Физика: Учеб. Для 10 кл. общеобразовательных учреждений; Касьянов В.А.. – 10-е изд., перераб. – М.: Дрофа, 2009.- 416с.
12. Касьянов, В.А. Физика: Учеб. Для 11 кл. общеобразовательных учреждений; Касьянов В.А.. – 11-е изд., перераб. – М.: Дрофа, 2010.- 422с.
13. Каменецкий, С.Е., Орехов В. П. Методика решения задач по физике в средней школе. Пособие для учителей. М.: Просвещение. – 1971. - 448
14. Контрольно-измерительные материалы. Физика: 10 класс / сост. Н.И. Зорин.- М.: Вако, 2010. – 96 с
15. Кафедра физики и математики: инновационные образовательные технологии класс /сост. Т. Г. Попова. – Волгоград. Учитель, 2010. – 191 с
16. Контрольно-измерительные материалы. Физика: 11 класс / сост. Н.И. Зорин.- М.: Вако, 2010. –112 с
17. Марон, А. Е. Физика. 10 класс: дидактические материалы / А.Е. Марон, Е. А. Марон – 7-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2010.- 156с.
18. Марон, А. Е. Физика. 11 класс: дидактические материалы / А.Е. Марон, Е. А. Марон – 5-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2008.- 143с.
19. Мякишев, Г. Я. . Физика: Учеб. Для 10 кл. общеобразовательных учреждений; / Мякишев Г. Я. , Буховцев Б.Б. – 10-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 2008.- 326с.
20. Мякишев, Г. Я. . Физика: Учеб. Для 11 кл. общеобразовательных учреждений; / Мякишев Г. Я. , Буховцев Б.Б. – 10-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 2008.- 254с.
21. Мясников, С.П., Осанова Т.Н. Пособие по физике; 4-е изд., перерабж и доп. – М.: Высш. Школа, 1981. – 391с
22. Оценка качества подготовки выпускников средней (полной) школы по физике / сост В.А.Коровин. – М.: Дрофа, 2001.- 192с.
23. Плигин, А.А. Познавательные стратегии школьников. – М.: Профит Стайл, 2007, 528 с

24. Рымкевич, А. П. Сборник задач по физике . – М.: Просвещение, 2008.- 191с.
25. Учебно-тренировочные материалы для подготовки к единому государственному экзамену. Физика . – М.: Интеллект-центр, 2004. – 2008 с
26. Усова, А. В., Тулькибаева, Н.Н. Практикум по решению физических задач: учебное пособие для студентов физ. - мат. фак. М.: Просвещение, 2002.- 208с.
27. Усова, А. В. Теория и методика обучения физике в школе . – Ульяновск: Изд-во «корпорация технологий продвижения», 2006. – 288 с
28. Сборник задач по физике: для 10-11 кл. общеобразовательных учреждений / сост Г.Н. Степанова. – 7-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 2001.- 287с.
29. Сдаем единый государственный экзамен. Физика / сост. В.И. Николаев.- 2-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2008. – 174 с
30. Самое полное издание типовых вариантов реальных заданий ЕГЭ: Физика / автор – составитель А.В Берков. – М.: Астрель, 2010.- 157 с
31. Самое полное издание типовых вариантов заданий ЕГЭ: Физика / автор – составитель А.В Берков. – М.: Астрель, 2011.- 159 с
32. Сперанский, Н.М. Как решать задачи по физике. – М.: Высшая школа. -2007. – 360 с
33. Целенаправленное развитие познавательных стратегий школьников. – Владимир: Атлас, 2010. – 139 с
34. Целенаправленное развитие познавательных стратегий школьников. – Владимир: Транзит-ИКС, 2011. – 139 с
35. Физика: Учеб. Для 10 кл. общеобразовательных учреждений / под ред Пинского. – 14-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 20010.- 415с.
36. Физика: Учеб. Для 11 кл. общеобразовательных учреждений / под ред Пинского. – 10-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 2006.- 425с.
37. Физика: Учеб. Для 11 кл. общеобразовательных учреждений / под ред Пинского. – 12-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 2008.- 425с.
38. Физика. Подготовка к ЕГЭ – 2011. Учебно-методическое пособие. – Ростов-на- Дону: Легион – М.2010. – 320с
39. Физика. Пособие для самостоятельной подготовки к ЕГЭ и централизованному тестированию . – Ростов-на- Дону: Феникс – М.2005. – 160с
40. Формирование универсальных учебных действий в основной школе. Система заданий. / под ред. А. Г Асмолова. – М.: Просвещение, 2010.- 159с.

СОДЕРЖАНИЕ