

*...обыкновенная материя по отношению к электрической жидкости является как бы своеобразной губкой...*

**Бенджамин Франклин**

*...тело благодаря одному лишь приближению к другому наэлектризованному телу само может стать наэлектризованным.*

**Франц Эпинус**

*В диэлектрике, находящемся под действием электродвижущей силы, мы можем представлять, что электричество в каждой молекуле так смещено, что одна сторона молекулы делается положительно наэлектризованной, а другая – отрицательно.*

**Джеймс Клерк Максвелл**

## А так ли хорошо знакома вам взаимосвязь вещества и электрического поля?

На этот раз разговор о взаимодействии двух видов материи, как ясно из эпиграфов, коснется электричества. Из этой необъятной области физики сегодня мы выберем прежде всего вопросы, связанные с поведением в электрических полях непроводящих тел – изоляторов, или диэлектриков. Кстати, именно их движение во внешнем неоднородном поле было первым в истории отмеченным людьми электрическим явлением.

За тысячи лет наблюдений и экспериментов были изучены свойства множества диэлектриков, открыты такие необычные эффекты, как пьезоэлектричество – электризация кристаллов при нагреве, сегнетоэлектричество – самопроизвольная электрическая поляризация, пьезоэлектричество – электризация под действием механического напряжения. Каждое из этих явлений со временем нашло свое применение в науке, технике или быту – в чувствительнейших приборах для обнаружения дефектов в деталях машин и для прослушивания сердца; в производстве малагабаритных конденсаторов и сенсорных устройств; в микрофонах и телефонах; в получении теплового изображения объектов и изготовлении зажигалок. С диэлектриками связывают развитие акусто- и оптоэлектроники – элементной базы будущих компьютеров. В науке даже возник термин «умные диэлектрики».

Однако важно подчеркнуть, что успешное исследование свойств

разнообразных диэлектриков было бы невозможно без глубоких знаний о структуре вещества. В свою очередь, понимание особенностей электрических процессов, протекающих на микроуровне, дает ключ для получения новых сведений о строении атомов и молекул.

Присоединяйтесь, пусть пока и на школьных примерах, к этому увлекательному поиску.

### Вопросы и задачи

**1.** Почему маленькие кусочки бумаги притягиваются к заряженной пластмассовой расческе, но не притягиваются ни к одной из параллельных пластин заряженного конденсатора?

**2.** Отчего заканчиваются неудачей попытки «отвести» в землю заряд диэлектрика?

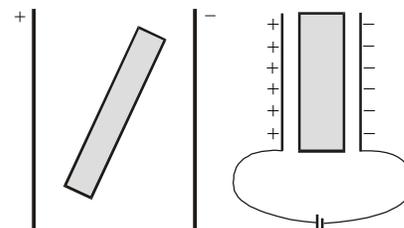
**3.** Обкладки вертикального воздушного конденсатора, заряженного и отключенного от источника, частично погружают в жидкий диэлектрик. Где напряженность электрического поля между обкладками оказывается больше: в воздухе или в диэлектрике?

**4.** Почему электролитические конденсаторы обладают большой емкостью?

**5.** В пространство между разноименно заряженными обкладками конденсатора вставляется металлическая пластина. Изменятся ли заряды, наведенные на пластине, если пространство внутри конденсатора заполнить керосином?

**6.** В пространстве между обкладками плоского заряженного

конденсатора расположена пластина из диэлектрика, как изображено на рисунке слева. Нарисуйте силовые линии электрического поля, пренебрегая его искажением у краев пластин.



**7.** Металлический заряженный шар окружен толстым сферическим слоем диэлектрика. Изобразите картину силовых линий внутри и вне диэлектрика. Почему электрическое поле меняется на границе диэлектрика?

**8.** Два небольших металлических шарика подключены к удаленному источнику напряжения. Как изменится сила притяжения между шариками, если их погрузить в жидкий диэлектрик, не меняя расстояния между ними?

**9.** Когда обкладки плоского воздушного конденсатора присоединили к электрической батарее, они стали притягиваться друг к другу. Как изменится сила их притяжения, если ввести в конденсатор пластинку из диэлектрика, как показано на рисунке справа?

**10.** Почему из двух конденсаторов одинаковой емкости и с одинаковыми диэлектриками больший размеры имеет тот, который рассчитан на большее напряжение?

11. Разность потенциалов заряженного и отсоединенного от батареи конденсатора удвоилась, когда вытек наполнивший его диэлектрик. Чему равна диэлектрическая проницаемость диэлектрика?

12. Плоский воздушный конденсатор после зарядки отключают от источника напряжения и погружают в керосин. Как изменится энергия, накопленная в конденсаторе?

13. Обкладки заполненного диэлектриком и заряженного конденсатора соединяют друг с другом на очень короткое время. Когда разность потенциалов между обкладками уменьшается в три раза, их разъединяют. После этого разность потенциалов медленно возрастает до  $2/3$  своего первоначального значения. Почему?

14. Какие вещества лучше отражают электромагнитные волны: металлы или диэлектрики?

15. Будет ли электрон взаимодействовать с нейтральным атомом?

16. Какой должна быть структура молекулы: а) двуокиси углерода, если известно, что она не имеет дипольного момента, т.е. является неполярной; б) воды, если известно, что она обладает дипольным моментом, т.е. является полярной молекулой?

### Микроопыт

Наэлектризуйте пластмассовую расческу трением и наблюдайте, как она притягивает маленькие кусочки бумаги. Однако, если вы поместите те же кусочки вблизи клемм заряженного аккумулятора или полюсов электрической батарейки, то никакого притяжения не обнаружится. Почему?

### Любопытно, что...

...английский физик Стефан Грей в начале XVIII века установил, что электризация тел трением происходит лучше, если их предварительно нагреть. Это было связано с испарением с них влаги, т.е. ухудшением проводимости, что внешне проявлялось как усиление их диэлектрических свойств.

...первое упоминание о пирозлектричестве относится к 300-м годам до новой эры. Особенности же этого явления подробно исследовал в середине XVIII века немецкий физик Франц Эпинус. Он

показал, что электризация кристаллов турмалина, возникающая при нагреве, принципиально отличается от общеизвестной тогда электризации трением.

...понятие диэлектрической проницаемости, характеризующей ослабление электрического поля в диэлектрике, было введено Майклом Фарадеем в 1837 году под названием «удельной индуктивной способности».

...Фарадей способствовал распространению теории магнетизма Кулона и Пуассона на теорию диэлектриков. А позже, обосновав теорию диэлектриков, Джеймс Максвелл перенес ее понятия на магнетизм.

...по всей видимости, Фарадею принадлежит предсказание электростатических аналогов постоянных магнитов. Такие диэлектрики, обладающие неизменным внешним электрическим полем, были названы в конце прошлого века английским физиком Оливером Хевисайдом «электретами». Первый искусственный электрет был получен примерно 80 лет назад из смеси пальмовой смолы с канифолью.

...в начале XIX века французский минералог Рене Аюи обнаружил, что пирозлектрические кристаллы способны электризоваться и под действием давления, что позволило ему создать чувствительный электроскоп. Этот эффект, присущий многим кристаллам, впоследствии стал именоваться пьезоэлектрическим.

...достижение предельно возможной поляризации диэлектрика было открыто в 1918 году на кристаллах сегнетовой соли, давшей название сегнетоэлектрическому эффекту. Сегодня в некоторых специально изготовленных керамиках величина диэлектрической проницаемости может достигать огромных значений – до 20000.

...наведенная поляризация неполярного диэлектрика значительно менее интенсивна, чем ориентационная поляризация диэлектрика, обладающего дипольным моментом. Дело в том, что даже самые сильные постоянные электрические поля, получаемые в лабораториях, в сотни тысяч раз уступают полю ядра атома в области электронной оболочки, из-за

чего смещение зарядов в атоме незначительно по сравнению с его размерами.

...в постоянных и низкочастотных полях диэлектрическая проницаемость воды равна 81. Но при частотах оптического диапазона она падает примерно до 2. Дело в том, что при высоких частотах молекулы диэлектрика «не успевают» поворачиваться вслед за полем.

...чувствительность современных пирозлектрических термометров достигает одной миллионной кельвина.

...благодаря использованию пьезоэлектриков удалось построить телескопы с управляемой геометрией поверхности зеркала, что позволяет легко изменять его фокусное расстояние.

...большинство диэлектриков не способны длительное время находиться в электретьном состоянии, однако некоторые виды керамики или полимерных пленок способны сохранять его десятки и даже сотни лет.

...многие ткани живого организма, например кровеносные сосуды, являются электретами. Учитывать это необходимо при использовании искусственных сосудов – если их не обработать в электрическом поле, они вызовут повышенную свертываемость крови, что создает опасность появления тромбов.

### Что читать в «Кванте» о взаимосвязи вещества и электрического поля

*(публикации последних лет)*

1. «Энергия электрического поля» – 1994, Приложение №5, 23;

2. «Электрический диполь и его электрический момент» – 1995, Приложение №4, с.77;

3. «Зачем погружать конденсатор в воду?» – 1996, №1, с. 39;

4. «Диэлектрики, полупроводники, полуметаллы, металлы» – 1996, Приложение №4, с.65;

5. «Электризация капель жидкости – от истории до практического использования» – 1996, №5, с. 44;

6. «Поляризованный диэлектрик и его энергия» – 1999, №1, с. 37.

*Материал подготовил  
А.Леонович*