



Константы и некоторые свойства веществ

Постоянная Авогадро $N_A = 6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ моль⁻¹

Постоянная Больцмана $k = 1,380\,649 \times 10^{-23}$ Дж/К

Скорость света в вакууме $c = 299\,792\,458$ м/с

Заряд электрона $q_e = -1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ Кл

Масса электрона $m_e = 9,109\,383\,701\,5(28) \times 10^{-31}$ кг

Молярная масса Refrigerant-10 $\mu_{R10} = 153,8$ г/моль

Плотность Refrigerant-10 (в жидком состоянии) $\rho_{R10} = 1,59$ г/см³

Молярная масса воды $\mu_w = 18,02$ г/моль

Плотность воды (в жидком состоянии) $\rho_w = 1.00$ г/см³

Диэлектрическая проницаемость воды (в жидком состоянии) $\epsilon_w = 81$

Плотность ртути $\rho_{Hg} = 13,6$ г/см³

Ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/с²

А. Проводящие шарики

A1 ^{0.30} Одна из моделей диэлектриков состоит в следующем: большое количество маленьких проводящих шариков радиусом R заполняют пространство с концентрацией n , так, что $R^3 n \ll 1$. Определите, на сколько диэлектрическая проницаемость ϵ отличается от единицы.

В. Поле поляризованного шара

B1 ^{0.30} Уединённый диэлектрический шар радиуса R поляризован так, что внутри него напряженность электрического поля однородна и равна $\vec{E}_{in}$. Определите напряженность электрического поля $\vec{E}_{out}(\vec{r})$, которое создаёт шар снаружи в точке $\vec{r}$. Радиус-вектор $\vec{r}$ проводится из центра шара.

B2 ^{1.00} Во внешнее однородное электрическое поле $\vec{E}_0$ поместили диэлектрический шар радиуса R . Напряженность электрического поля внутри шара стала равна $\vec{E}_0/n$. Определите диэлектрическую проницаемость материала шара ϵ .

B3 ^{0.30} Если поместить неполярную частицу (например атом вещества) в электрическое поле $\vec{E}'$, то она приобретёт дипольный момент $\vec{p}$. Для малых полей эта зависимость линейная:

$$\vec{p} = \beta \epsilon_0 \vec{E}'.$$

Коэффициент β называется «поляризуемость». Укажите поляризуемость β для проводящего шара.

С. Диэлектрическая проницаемость неполярных газообразных веществ

C1 ^{0.50} Если поместить атом водорода (который сам по себе не обладает дипольным моментом) в переменное электрическое поле $E(t) = E_0 \cos(\omega t)$, то он поляризуется в основном за счёт того, что электрон массой m_e и зарядом q_e смещается под действием вынуждающей силы внешнего поля. То есть электрон совершает колебания возле положения равновесия (ядро атома). Определите, как зависит положение центра облака электрона от времени $x(t)$, если собственная частота таких колебаний электрона ω_0 ?

C2 ^{0.30} Если поместить указанный атом водорода в постоянное электрическое поле E_0 , то он будет поляризоваться. Величина поляризации будет определяться собственной частотой колебаний ω_0 , которую можно оценить из следующих соображений: это частота электромагнитной волны, которая при поглощении атомом водорода ионизует его из основного состояния. Известно, что длина волны этого излучения $\lambda = 91.1$ нм. Оцените поляризуемость β атома водорода.

C3 ^{0.30} Определите на сколько диэлектрическая проницаемость газообразного водорода отличается от единицы при атмосферном давлении и температуре $t = 0^\circ\text{C}$. Используйте значение поляризуемость атома водорода из предыдущего пункта. Для разряженных газов можно считать, что поле в веществе E и поле которое действует на одну молекулу E' совпадают.

Д. Диэлектрическая проницаемость неполярных жидкостей

Для того, чтобы определить диэлектрическую проницаемость жидкостей, считать, что напряженности $\vec{E}$ и $\vec{E}'$ (см. C3) совпадают уже нельзя. Чтобы вычислить $\vec{E}'$, можно считать, что молекула находится внутри полой пустой (без вещества) сферы в материале диэлектрика. Чтобы найти поле внутри этой сферы, создаваемое внешними зарядами, считаем, что эти внешние заряды распределены в веществе непрерывно.

D1 ^{0.50} Внутри сплошного однородного диэлектрика напряженность электрического поля равна $\vec{E}$, вектор поляризаций равен $\vec{P}$. Внутри диэлектрика вырезали сферическую полость. Определите напряженность электрического поля в веществе $\vec{E}_h$.

D2 ^{1.00} Используя указанную выше модель найдите, на сколько диэлектрическая проницаемость жидкости ϵ отличается от единицы. Концентрация молекул n , поляризуемость β .

D3 ^{0.50} Вещество Refrigerant-10 в газообразном виде имеет диэлектрическую проницаемость $\epsilon_g = 1.0030$ при температуре $t_g = 105^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении. Определите диэлектрическую проницаемость ϵ_l данного вещества в жидком виде.

D4^{0.50} Для воды при температуре $t_1 = 145^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении диэлектрическая проницаемость равна $\epsilon_1 = 1.00705$. Оцените диэлектрическую проницаемость воды ϵ_2 при температуре $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Сравните результат полученный из этой модели с реальным значением диэлектрической проницаемости воды. Если он не сходится, укажите возможную причину.

Е. Диэлектрическая проницаемость полярных веществ

Для полярных диэлектриков ситуация сложнее. Молекулы сами по себе обладают дипольным моментом p_0 . В отсутствии электрического поля эти молекулы-диполи ориентированы хаотически. При помещении этого вещества в электрическое поле появляется поляризация из-за неравномерной ориентации диполей. Кроме того, остаётся эффект того, что помимо собственного дипольного момента, появляется наведённый. Вклад этих двух эффектов в диэлектрическую проницаемость линейно складывается.

E1^{1.00} Определите разницу $\epsilon - 1$ для такого вещества с концентрацией молекул n при температуре T .
Можно считать, что температура достаточно велика, а напряженность электрического поля не велика. Наведённый дипольный момент не учитывайте.

$T, \text{ К}$	$p, \text{ см. рт. ст.}$	$(\epsilon - 1)10^5$
393	56,49	400,2
423	60,93	371,7
453	65,34	348,8
483	69,75	328,7

E2^{1.00} По имеющимся данным таблицы определите дипольный момент молекулы p_0 и поляризуемость β для воды. В таблице указана зависимость диэлектрической проницаемости воды от её температуры T и давления p .