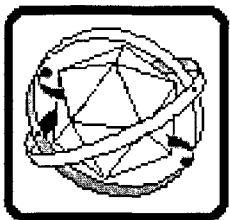


УТВЕРЖДЕНО  
Заместитель председателя оргкомитета  
заключительного этапа Республиканской олимпиады,  
заместитель министра образования Республики Беларусь

  
К.С. Фарино

«14» марта 2007 г



**Республиканская физическая  
олимпиада 2007 год.  
г. Минск  
Теоретический тур**

**10 класс.**

*Оргкомитет и Жюри заключительного этапа Республиканской олимпиады школьников 2007 года*

- *приветствуют вас в городе Минске;*
- *поздравляют с успешным выступлением на предыдущих этапах олимпиады;*
- *желают успехов на заключительном этапе.*

1 Полный комплект состоит из трех не связанных между собой заданий

2 При оформлении работы каждую задачу начинайте с новой страницы. Первая половина тетради предназначена для чистовика, вторая - черновика. При недостатке бумаги обращайтесь к оргкомитету, *обеспечим!*

3 Подписывать тетради и отдельные страницы запрещается

4 В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор

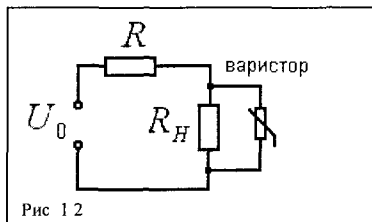
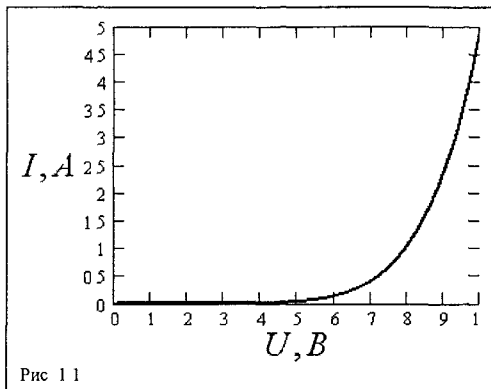
5 Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к представителям Жюри



## Задание 1. Разминка

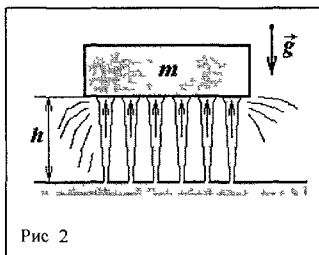
### 1.1 Варистор.

Для защиты приборов от скачков напряжения, используют варисторы – полупроводниковые приборы, вольт-амперная характеристика которых изображена на рис 11. Электрическая цепь изображена на рис 12 ( $U_0 = 12В$ ,  $R = 200\Omega$ ). Варистор присоединяется параллельно нагрузке с сопротивлением  $R_H = 100\Omega$ . Неожиданно, напряжение  $U_0$  возрастает в четыре раза (до  $U_1 = 48В$ ). Во сколько раз изменится напряжение на нагрузке?

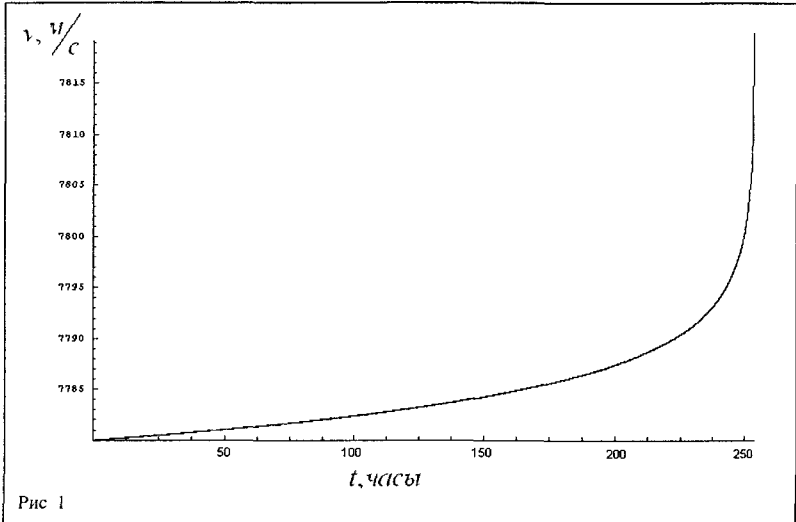


### 1.2 «Гидроподушка»

Если брусок массы  $m = 0,35\text{ кг}$  аккуратно опустить на бьющие вертикально вверх из отверстий струи со скоростью  $v_0 = 4,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , то на некоторой высоте  $h$  брусок «зависнет», оставаясь в покое (рис 2). Оцените  $h$ , если радиус каждого отверстия  $r = 2,0\text{ мм}$ , и брусок опирается на  $N = 20$  струй воды. Плотность воды  $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . При оценке считайте, что струя воды после неупругого соударения с бруском растекается по нему и падает вниз, не меняя форму струй.



## Задание 2 «Торможение спутника»



Рассмотрим движение искусственного спутника Земли в верхних слоях атмосферы. Наличие атмосферного «хвоста» приводит к тому, что на спутник действует тормозящая сила, пропорциональная плотности газа, площади поперечного сечения спутника и квадрату его скорости

$$F_C = C \rho S v^2$$

Безразмерный коэффициент  $C$  в данной задаче можно принять равным единице

Сила эта невелика, и спутник может годами вращаться вокруг Земли. Однако радиус его орбиты будет постепенно уменьшаться, соответственно будет изменяться и скорость движения спутника. Предлагаем рассмотреть динамику спутника подробнее.

1. Спутник с массой  $m$  и площадью поперечного сечения  $S$  находится на орбите радиуса  $R_0$ . Определите скорость его движения  $v_0$  и период обращения вокруг Земли  $T_0$ .

2. Чему равна полная механическая энергия спутника  $E_0$ ?

3. Теперь учтем силу сопротивления. Плотность атмосферы на данной высоте –  $\rho_0$ . За один «виток» радиус орбиты изменяется на относительно маленькую величину  $\Delta R$  ( $\Delta R \ll R_0$ ), поэтому силу сопротивления на этом «витке» можно считать постоянной величиной. Определите относительное изменение скорости спутника  $\frac{\Delta v}{v_0}$  и радиуса орбиты  $\frac{\Delta R}{R_0}$  за один оборот.

4. Определите тангенциальное  $a_t$  (по касательной к орбите) ускорение спутника на этой орбите.

5. С какой скоростью  $v_{n0}$  спутник приближается к центру Земли на этой высоте? Если бы плотность атмосферы изменялась по закону  $\rho = AR^\alpha$ , то при некотором значении  $\alpha$ , эта скорость оставалась бы постоянной величиной. Определите, чему равен этот показатель  $\alpha$ .

6 Рассмотренное явление может дать ценную информацию о верхних слоях атмосферы. Сферический зонд с массой  $m = 100 \text{ кг}$  и площадью поперечного сечения  $S = 1,00 \text{ м}^2$  выводят на орбиту на высоте  $h = 208 \text{ км}$ . Не составляет большого труда измерять изменение скорости спутника. На рисунке 1 приведен график зависимости скорости спутника от времени наблюдения.

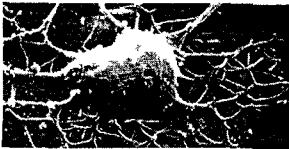
Известно, что плотность атмосферы экспоненциально уменьшается с высотой, т.е.

$$\rho \sim e^{-\beta h}$$

Некоторые постоянные

$$\text{Радиус Земли } R_3 = 6,40 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$\text{Масса Земли } M = 6,00 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

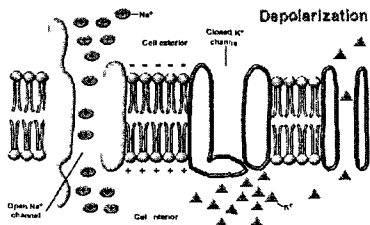


### Задание 3. «Нервное возбуждение»

*А Ходжкин и Э Хаксли получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1963 г «за открытия, касающиеся ионных механизмов, участвующих в возбуждении и торможении в периферическом и центральном участках мембраны нервной клетки»*

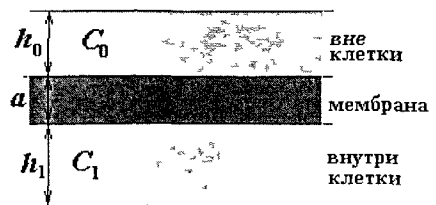
Основой жизнедеятельности живых организмов, во многом, являются процессы, протекающие в мембранах клеток. В данной задаче вам необходимо рассмотреть некоторые подходы к описанию процесса возбуждения нервных клеток в рамках примитивной модели.

Основная идея теории возбуждения клетки заключается в описании процессов



переноса ионов через мембрану. Проницаемость мембраны различна для различных ионов, кроме того в мембрану встроены большие белковые молекулы, играющие роль насосов, способных переносить ионы определенного типа с одной стороны мембраны на другую (затрачивая на это энергию). Благодаря наличию этих насосов – каналов, концентрации ионов различны с разных сторон от мембраны, и как следствие появляется разность электрических потенциалов между противоположными стенками мембраны.

Еще более упростим модель. Будем считать, что мембрана является плоскопараллельной пластинкой толщиной  $a$ . Снаружи клетки находится слой жидкости (воды) толщиной  $h_0$ , а внутриклеточное пространство моделируется слоем жидкости толщиной  $h_1$ . Диэлектрические проницаемости всех сред будем считать равными единице. Концентрации частиц вне клетки будем обозначать  $C_0$ , а внутри –  $C_1$  (при необходимости будем добавлять индексы, указывающие тип частиц).



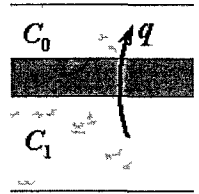
## 1 Диффузия.

Рассмотрим движение незаряженных молекул через мембрану без «насосов» (считаем, что электрических зарядов в природе не существует) Плотность диффузионного потока частиц  $q$  (число частиц пересекающих единицу площади мембраны в единицу времени) пропорциональна разности концентраций этих частиц с противоположных сторон мембраны

$$q = g\Delta C \quad (1)$$

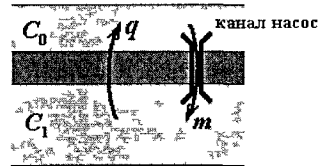
где  $g$  - коэффициент пропорциональности, который назовем проницаемостью мембраны для данных частиц

Пусть в начальный момент времени концентрации рассматриваемых частиц с разных сторон мембраны различны Оцените время, в течение которого концентрации частиц выровняются



## 2 Вынужденный перенос и диффузия.

Рассмотрим теперь мембраны в которую встроены каналы-насосы принудительно переносящие рассматриваемые молекулы внутрь клетки Пусть эти каналы равномерно распределены по поверхности мембраны, причем на единицу площади приходится  $n$  каналов, каждый из которых переносит в единицу времени  $m$  молекул из внеклеточного пространства внутрь клетки



Определите установившуюся разность концентраций  $\Delta \bar{C} = C_0 - C_1$  между разными сторонами мембраны

## 3. Электрическое поле.

Далее будем считать, что рассматриваемые частицы являются ионами калия  $K^+$  Пусть концентрация ионов вне клетки равна  $C_0$ , а внутри нее  $C_1$  Найдите разность потенциалов <sup>1</sup> между стенками мембраны  $\Delta \varphi$ , пренебрегая наличием ионов внутри мембраны

## 4. Перенос ионов.

При наличии электрического поля помимо потока ионов через мембрану, обусловленного разностью концентрации появляется поток ионов, обусловленный наличием электрического поля В этом случае суммарная плотность потока ионов через мембрану определяется формулой

$$q = g\Delta C + bC \Delta \varphi, \quad (2)$$

где  $\Delta \varphi$  разность потенциалом между стенками мембраны,  $C$  - концентрация ионов с той стороны мембраны от которой начинается движение ионов через мембрану под действием электрического поля (для положительных ионов со стороны большего потенциала)

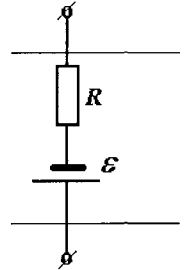
Найдите установившуюся разность потенциалов между стенками мембраны

<sup>1</sup> В реальности внутри и вне клетки присутствуют ионы и других типов которые также вносят свой вклад в создание поля Однако их концентрации практически не изменяются поэтому основную роль играют потенциалы изменяющихся полей создаваемых теми ионами концентрации которых изменяются Поэтому здесь и в дальнейшем принимаем во внимание только их и поля создаваемые ими

Используйте все характеристики мембраны, введенные в предыдущих пунктах. При равенстве концентраций с разных сторон от мембраны, эти концентрации равны  $C_e$ .

**5. Эквивалентная схема.**

Процессы протекания тока через мембрану могут быть описаны с помощью эквивалентной электрической схемы. Свяжите параметры этой схемы ЭДС источника и сопротивление цепи с параметрами реальной мембраны и характеристиками ионных потоков



6. Как показали *А Ходжкин* и *Э Хаксли* для объяснения возникновения нервных импульсов необходимо принимать во внимание, как минимум два типа ионов. Вторым основным типом ионов являются ионы натрия  $Na^+$ . В мембране также присутствуют натриевые каналы – насосы, принудительно переносящие ионы натрия из клетки наружу. Будем считать, что для обоих типов ионов известны параметры эквивалентных схем  $R_K, \varepsilon_K$  и  $R_{Na}, \varepsilon_{Na}$  ( $\varepsilon_{Na} > \varepsilon_K$ ). Пусть изначально все натриевые каналы закрыты, а затем в некоторый момент времени открываются на небольшой промежуток времени  $\tau$ . Опишите, как будет изменяться разность потенциалов между стенками мембраны с течением времени. Постройте примерный график этой зависимости.

*Если вы все решили правильно, то полученный график и будет моделировать временной ход нервного импульса!*