

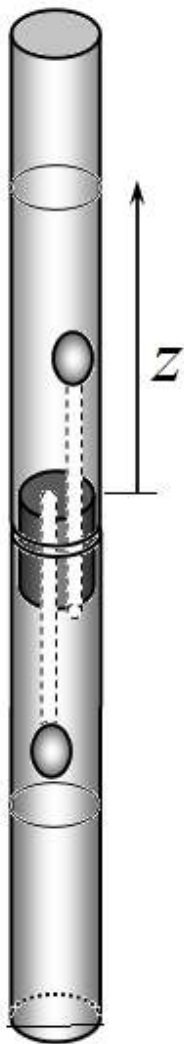
## игрушку

### Условие

#### Задача 10-2. Капельница

Не сложно найти множество игрушек, в которых можно наблюдать движение капелек одной жидкости в другой, не смешивающейся с первой. Мы для вас сделали такую «игрушку» и рекомендуем исследовать ее некоторые характеристики.

Приборы и материалы: Две пробирки с единой шкалой, полностью заполненные двумя не смешивающимися жидкостями (вода и растворитель – «Уайт спирт»), штатив, секундомер с памятью 10 этапов.



Две пробирки соединены с помощью пробки, через которую проходят две одинаковых трубки. Пробирки заполнены двумя жидкостями, плотность воды больше, чем плотность растворителя. Во время всех измерений пробирки располагайте вертикально.

Если в верхней пробирке находится более тяжелая жидкость (вода), то через трубки начнется перетекание жидкостей, при этом в каждой пробирке на торцах трубок будут образовываться капли, которые, отрываясь от трубок, будут подниматься в верхней пробирке и опускаться в нижней. Также легко наблюдать границы жидкостей, как в верхней, так и в нижней пробирке. Координату верхней границы  $z$  следует отсчитывать от края пробки.

#### Часть 1. Капли.

*Размеры образующихся капель воды и растворителя могут быть разными.*

1.1 С помощью секундомера с памятью этапов (можете использовать инструкцию по пользованию секундомером) зафиксируйте времена отрыва последовательно образующихся капель  $t_1(k)$  растворителя в воде и  $t_2(k)$  - воды в растворителе. Постройте графики полученных зависимостей.

1.2 Рассчитайте отношение объемов капель  $\frac{V_1}{V_2}$ .

1.3 Рассчитайте отношение вязкостей воды и растворителя  $\frac{\eta_1}{\eta_2}$ .

При движении капель на них действует сила вязкого трения, которая определяется формулой Стокса

$$F = 6\pi\eta Rv \quad (1)$$

где  $R$  - радиус капли,  $v$  - скорость ее движения,  $\eta$  \*- вязкость среды, в которой движется капля.

Приведите формулы, которые Вы использовали для расчета этого отношения. Укажите, какие величины вам пришлось дополнительно измерить, приведите результаты этих измерений.\*

## **Часть 2. Движение границы.**

2.1 Измерьте зависимость координаты верхней границы жидкостей от времени  $z(t)$ . Постройте график полученной зависимости.

2.2 Дайте качественное объяснение вида полученной зависимости  $z(t)$ . Свои выводы обоснуйте формулами и расчетами.

\*Скорость перетекания жидкости (объем жидкости, протекающей в единицу времени  $q$ ) через тонкую трубку пропорционален разности давлений на концах трубки  $\Delta P$ , обратно пропорционален длине трубки  $l$  и вязкости жидкости (закон Пуазейля)\*

$$q = \frac{\pi r^4}{8\eta l} \Delta P \quad (2)$$

$r$  - радиус трубки.

**Задача 1.** «Дыхание» транзистора или когда все изменяется... *Ничего не понимаю, но делать надо!* (Основное правило «олимпиадников»)

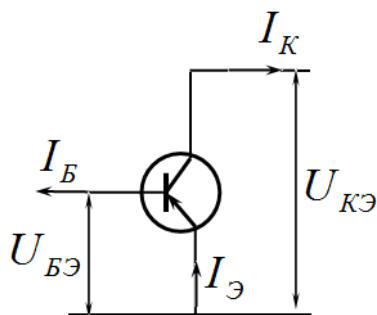
Современные компьютеры, смартфоны содержат десятки миллионов транзисторов. Мощь человеческого интеллекта и современных технологий делают работу огромного числа транзисторов согласованной!

Вам предстоит изучить некоторые характеристики всего лишь одного транзистора малой мощности МП41, широко применявшегося на практике 50 лет тому назад.

Если вы первый раз слышали слово транзистор, то можете ознакомиться с «Кратким описанием» принципов его работы.

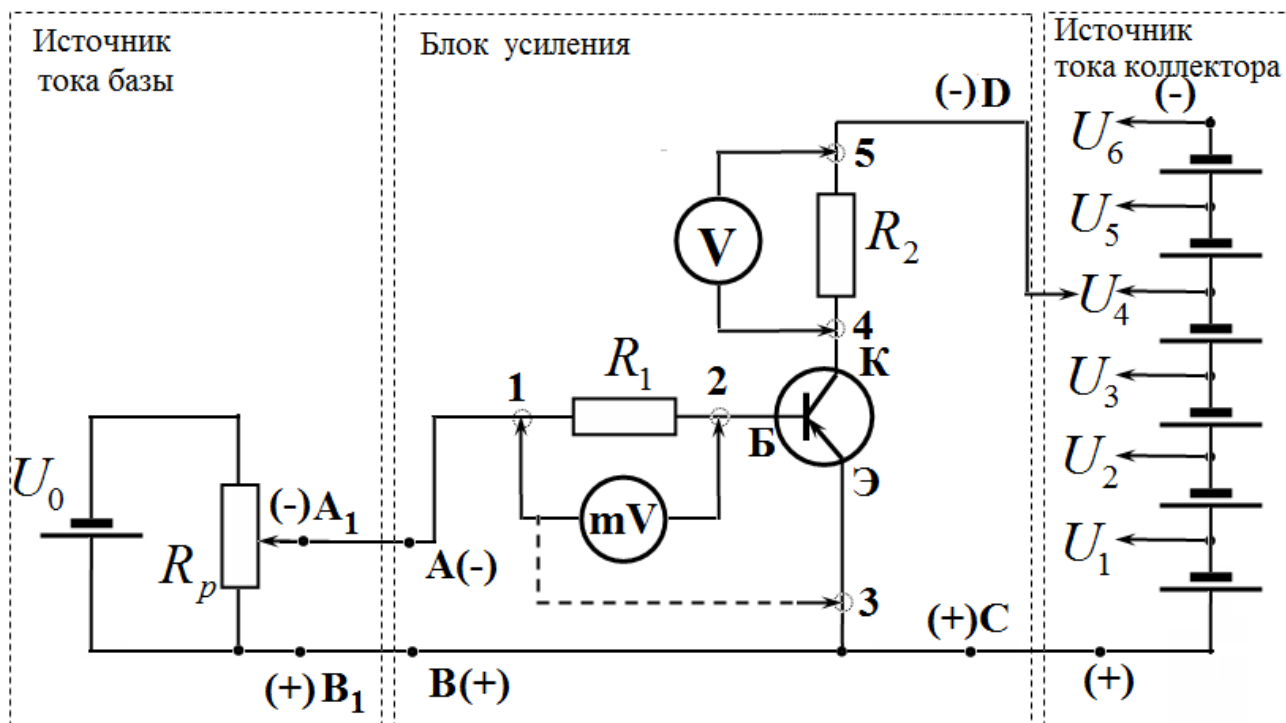
В данной работе Вам предстоит исследовать работу транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером. Основное назначение этой схемы – усиление сигнала, который подается на базу транзистора.

Оказывается, что малое изменение тока базы существенно влияет на силу тока коллектора, именно благодаря этому осуществляется усиление сигнала «по току».



Включение транзистора по схеме с общим эмиттером

Для выполнения работы для вас собрана следующая электрическая схема. Кружочками на схеме с номерами 1, 2, 3, 4, 5 обозначены штырьковые контакты,



предназначенные для удобства подключения вольтметра и милливольтметра при измерении напряжения.

Для регулировки напряжения, подаваемого на базу-эмиттер, используется проволочный реостат  $R_p$ . Измерения необходимо делать аккуратно, так как ток базы в несколько микроампер существует

Для подачи изменяемого напряжения на коллектор – эмиттер используется батарея из 6 элементов. Для измерения малого тока базы и напряжения база-эмиттер используется мультиметр, работающий в режиме измерения напряжений. Снимать показания с мультиметра следует с точностью до милливольт. Для расчета тока базы используйте результаты измерений напряжения на резисторе  $R_1 = 100 \text{ Ом}$  (контакты 1-2). С помощью мультиметра также можно измерять напряжение между базой и эмиттером (контакты 2-3). Для измерения тока коллектора используйте результаты измерений напряжения на нагрузке  $R_2$  (контакты 4-5). Эти измерения проводите с помощью школьного вольтметра с точностью до десятых долей вольт.

*При расчетах внутренними сопротивлениями источников можно пренебречь.*

**Внимание!** Сопротивление школьного вольтметра не слишком велико (его нельзя считать идеальным). Поэтому сопротивление нагрузки (резистора  $R_2$  и соединенного с ним вольтметра) измерьте предварительно с помощью мультиметра, переключив его в режим измерения сопротивления. (запишите значение этого сопротивления). По причине малости сопротивления вольтметра с его помощью нельзя измерять напряжение между коллектором и эмиттером – подключение вольтметра к контактам 4-3 существенно изменяет все параметры рассматриваемой схемы!

*Строго соблюдайте полярность подключения источников к блоку усиления!*

Основной целью данной работы является выбор параметров изучаемой схемы, при которых она может работать в качестве усилителя. Выбор этих параметров обусловлен двумя критериями:

1. Усиление должно происходить без искажения сигнала, т.е. связь между током коллектора и током базы должна быть линейной. 2. Имеются ограничения для силы тока коллектора, напряжения коллектор – эмиттер и мощности теплоты, выделяющейся на транзисторе.

### ***Часть 1. Входные характеристики транзистора***

Входные характеристики показывают зависимость тока базы  $I_B$  от напряжения между эмиттером и базой  $U_{ЭБ}$  при постоянном напряжении между эмиттером и коллектором  $U_{ЭК} = const$ .

1.1 Измерьте зависимости силы тока базы  $I_B$  от напряжением между базой  $U_{ЭБ}$  при напряжениях между эмиттером и коллектором равным  $U_{ЭК} = 0 В$ ,  $U_{ЭК} = 4,5 В$ . Постройте графики полученных зависимостей на одном бланке.

\*Измерения проведите при напряжениях на резисторе  $R_1$ , изменяющихся в пределах от 10 до 80 мВ. Для подачи напряжения на коллектор-эмиттер закоротите проводником резистор  $R_2$ .\*

### ***Часть 2. Выходные характеристики транзистора***

Выходные характеристики транзистора показывают зависимость тока коллектора ( $I_K$ , мА) от напряжения между эмиттером и коллектором ( $U_{ЭК}$ , В) при постоянном значении тока базы ( $I_B$ , мкА).

\*Отключите провод между контактами 4 и 5. Подключите вольтметр к резистору  $R_2$ .\*

2.1 Установите последовательно напряжение на резисторе  $R_1 = 100 Ом$   $U_{R1} = (20, 30, 40, 50)$  мВ \*\*при  $U_{CD} = 0 В$ \*\* и, дотрагиваясь контактом D последовательно к шести контактам источника ( $U_1$ ) – ( $U_6$ ), измерьте значения напряжения на нагрузке  $U_{R2}$  для соответствующих напряжений источника при установленном токе базы.

***После каждого размыкания контакта D с источником тока проверяйте*** установленное значение тока базы (напряжение  $U_{R1}$ )!\*

2.2 Вычислите значения тока коллектора  $I_K$  и напряжение эмиттер-коллектор  $U_{ЭК}$  для соответствующих значений тока базы и напряжения источника.

2.3 Постройте графики (на одном бланке) зависимости тока коллектора ( $I_K$ , мА) от напряжения эмиттер – коллектор ( $U_{ЭК}$ , В) при соответствующем токе базы.

### ***Часть 3. Усиление транзистора по току***

3.1 Измерьте зависимость силы тока коллектора  $I_K$  от тока базы  $I_B$  при постоянных значениях напряжения  $U_{CD}$  равных 3,0 В, 4,5 В, 6,0 В. Постройте графики полученных зависимостей на одном бланке. *Сила тока базы не должна превышать 0,3 мА*

3.2 Какое напряжение  $U_{CD}$  является оптимальным для работы данного усилителя? Ответ обоснуйте.

3.3 Для оптимального значения  $U_{CD}$  рассчитайте коэффициент усиления по току  $K = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$  (Рассчитывать погрешность не требуется!)

### ***Часть 4. Рабочая область и ограничения***

*Допустимый рабочий диапазон транзистора:* \*по напряжению  $1 \text{ В} \leq U_{\text{ЭК}} < 15 \text{ В}$ ; \*по току  $1 \text{ мА} \leq I_{\text{К}} < 20 \text{ мА}$ ; \*по мощности  $P_{\text{К}} = I_{\text{К}} U_{\text{ЭК}} < 150 \text{ мВт}$ .\*

4.1 На диаграмме ( $U_{\text{ЭК}}, I_{\text{К}}$ ) постройте область допустимых значений напряжения эмиттер-коллектор и силы тока коллектора.

4.2 Используя входные и выходные характеристики транзистора, график зависимости  $I_{\text{К}} = f(I_{\text{Б}})$ , определите:

4.2.1 максимальный, минимальный ток коллектора  $I_{\text{Кmax}}, I_{\text{Кmin}}$  и, соответствующий им, максимальный и минимальный ток базы  $I_{\text{Бmax}}, I_{\text{Бmin}}$ , допускающих работу транзистора без искажений входного сигнала;

4.2.2 максимальное и минимальное значение напряжения входного сигнала  $U_{\text{ЭБmax}}, U_{\text{ЭБmin}}$ , допускающих работу транзистора без искажений входного сигнала.

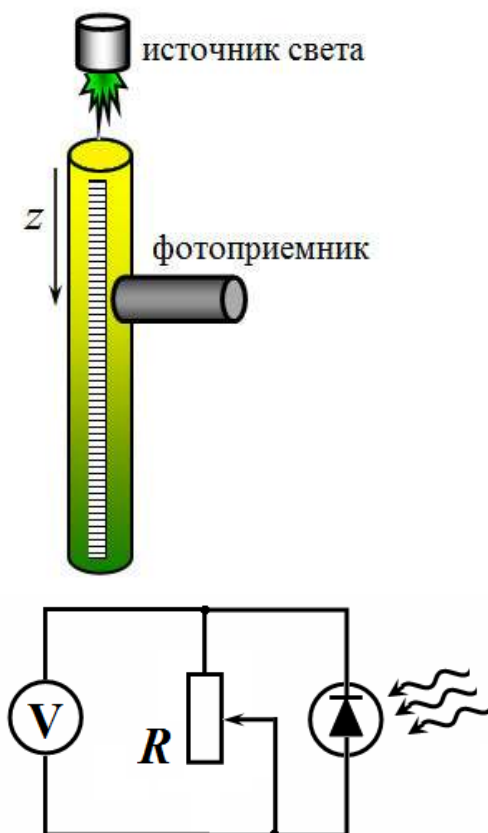
## **Задача 2. Поглощение и люминесценция.**

Приборы и оборудование: пробирка с люминесцирующим раствором родамина 6Ж в штативе со шкалой, источник света (светодиод) с блоком питания, фотоприемник (фотодиод), переменный резистор, мультиметр, соединительные провода.

Люминесценция – это вторичное излучение после поглощения света. В данной работе исследуется люминесценция водного раствора сложного органического соединения родамина 6Ж. Интенсивность люминесценции пропорциональна количеству поглощенной световой энергии. При прохождении света через поглощающую среду изменение интенсивности света при прохождении через тонкий слой  $\Delta z$  пропорционально интенсивности падающего света и толщине слоя

$$\Delta I = -kI\Delta z, \quad (1)$$

где  $k$  - коэффициент поглощения света. Закрепите пробирку в лапке штатива вертикально, над ней (в непосредственной близости от ее края) расположите источник света. Направьте световой пучок строго вдоль пробирки. Для измерения интенсивности света используйте фотоприемник, непосредственно приставляя его к стенке пробирки. Положение фотоприемника измеряйте по шкале, прикрепленной к пробирке. Для измерения интенсивности света используйте электрическую схему, изображенную на рисунке. Сопротивление резистора должно быть равно 10-15 кОм (для установки этого значения используйте мультиметр). При освещении фотоприемника напряжение на резисторе пропорционально интенсивности падающего света.



1. Измерьте зависимость интенсивности люминесценции как функцию расстояния от края раствора  $z$ . Постройте график полученной зависимости  $I_{\text{люм}}(z)$ .
2. Источник света не формирует параллельный поток лучей. Поэтому даже в отсутствие поглощения света интенсивность света зависит от расстояния до источника. Измерьте зависимость интенсивности света, испускаемого источником от расстояния до источника  $I_0(z)$ .

*Рекомендуем, не изменяя положения источника, слегка сдвинуть пробирку, и провести измерения, повернув фотоприемник на источник.*

3. Используя полученные экспериментальные данные, выделите диапазон высот  $z$ , в котором выполняется закон поглощения света (1). Определите коэффициент поглощения света в этом диапазоне. Оцените погрешность полученного значения.

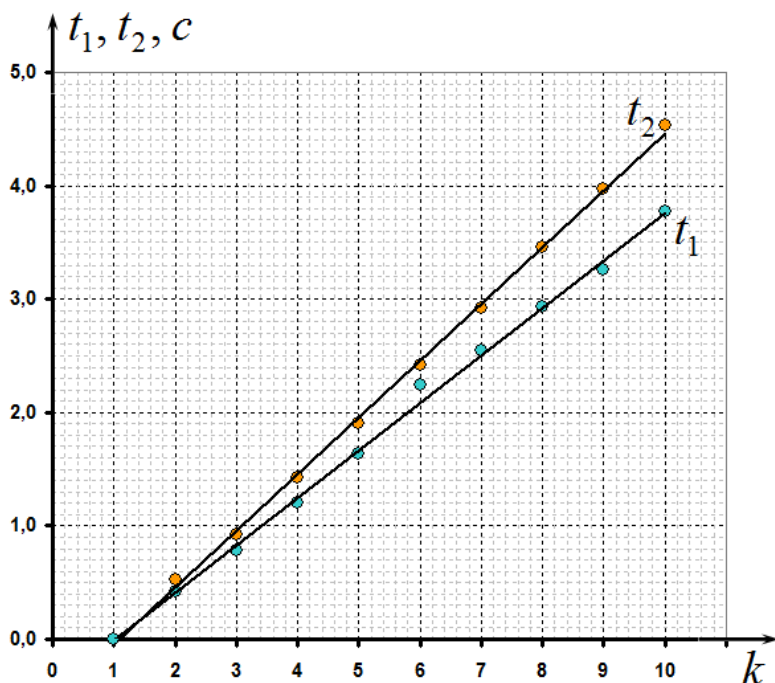
**Решение**

### **Задача 10-2. Капельница**

1.1 Результаты измерений времен отрыва последовательно образующихся капель  $t_1(k)$  растворителя в воде и  $t_2(k)$  - воды в растворителе приведены в Таблице 1. Рядом приведены графики полученных зависимостей.

Таблица 1.

| $k$ | $t_1(k), \text{с}$ | $t_2(k), \text{с}$ |
|-----|--------------------|--------------------|
| 1   | 0,00               | 0,00               |
| 2   | 0,52               | 0,42               |
| 3   | 0,92               | 0,78               |
| 4   | 1,42               | 1,20               |
| 5   | 1,91               | 1,63               |
| 6   | 2,42               | 2,24               |
| 7   | 2,92               | 2,55               |
| 8   | 3,46               | 2,93               |
| 9   | 3,97               | 3,26               |
| 10  | 4,53               | 3,77               |



1.2 Из полученных зависимостей следует, что среднее время образования капли растворителя (поднимающегося вверх) равно  $\tau_1 = 0,50\text{с}$ , а среднее время образования капли воды (опускающейся вниз) равно  $\tau_2 = 0,42\text{с}$ . Так как объемы перетекающих жидкостей в единицу времени одинаковы, то отношение объемов капель равно отношению времен их образования

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2} \approx 1,2 \quad (1)$$

1.3 Отношение вязкостей жидкости можно найти по отношению скоростей их движения. Для каждой капли при ее равномерном движении справедливо уравнение

$$6\pi\eta Rv = |mg - F_A| = \frac{4}{3}\pi R^3(\rho_1 - \rho_2)g \quad (2)$$

Из этого выражения следует, что отношение вязкостей может быть рассчитано по формуле

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{2}{3}} \frac{v_2}{v_1} \quad (3)$$

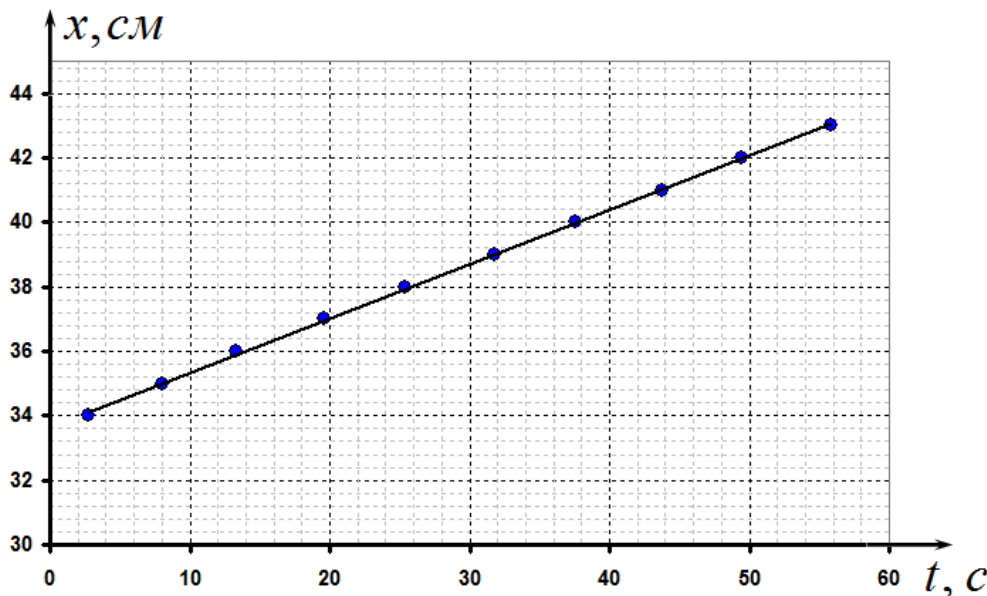
Таким образом, для определения отношения вязкостей необходимо измерить скорости движения капель. В результате измерений получены значения  $v_1 \approx 13,6 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ ,  $v_2 \approx 9,8 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ . Следовательно, отношение вязкостей жидкостей (растворителя к воде) равно

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{v_2}{v_1} = (1,2)^{\frac{2}{3}} \frac{13,6}{9,8} \approx 1,6 \quad (4)$$

## Часть 2. Движение границы.

2.1 Результаты измерения зависимости координаты границы  $x$  от времени  $t$  приведены в таблице 2. Рядом приведен график закона движения границы  $x(t)$  Таблица 2.

| $x$ , см | $t$ , с |
|----------|---------|
| 34       | 2,72    |
| 35       | 7,99    |
| 36       | 13,31   |
| 37       | 19,62   |
| 38       | 25,39   |
| 39       | 31,75   |
| 40       | 37,56   |
| 41       | 43,71   |
| 42       | 49,47   |
| 43       | 55,79   |



Полученные данные однозначно свидетельствуют, что граница движется равномерно, со скоростью примерно равной  $v = 0,17 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ .

2.2 Полученные данные, на первый взгляд противоречат формуле Пуазейля, из которой следует, что скорость перетекания жидкости должна зависеть от разности давлений на концах трубки. Однако при движении жидкости формула для гидростатического давления оказывается не применимой, так как устанавливается новое распределение давлений, обеспечивающих равенство перетекающих потоков жидкости. На рисунке приведены значения на разных уровнях внутри пробирки. Учтено, что разность давлений на концах трубок определяется формулой Пуазейля.



$$q = \frac{\pi r^4}{8\eta l} \Delta P \quad \Rightarrow \quad \Delta P = C\eta q \quad (5)$$

Где  $C$  - постоянная величина, зависящая только от геометрических размеров трубок. Приравнивая два выражения для давления на нижнем срезе нижней трубки, получим  $P_0 + \rho_1 gl - C\eta_1 q = P_0 + C\eta_2 q + \rho_2 gl$ , Откуда следует формула для расхода жидкостей

$$q = \frac{\rho_1 - \rho_2}{c(\eta_1 - \eta_2)} gl. \quad (6)$$

Таким образом, показано, что расход жидкости и, следовательно, скорость движения границы постоянны и не зависят от давления в верхней части верхней пробирки.

