

Новосибирский государственный университет

кафедра общей физики

1985 г.

ТЕТРАДЬ

курсовая работа
студентов 4301-б гр.

Володина В.А. и

Епишкина М.И.

руководитель -

Когеев А.А.

Ом. А. А. Когеев

51

Тема: Измерение массы
ионов методом резонансных
высокочастотных колебаний эле-
ктрического поля в постоян-
ном магнитном поле.

Оборудование: Омега-трон, источник
высокочастотных электрических коле-
баний (ГВЧ), микроамперметр,
микровольтметр Ф 5050.

Краткая теория

На заряженную частицу, движущуюся в электрическом и магнитном поле, действуют 2 силы: сила Лоренца равная $q\vec{v} \times \vec{B}$ и сила эл. поля, равная $q\vec{E}$ (q -заряд; $\vec{v}$ -скор; $\vec{B}$ и магн. инд. $\vec{E}$ - напряжённость эл. поля)

$$a_e = \frac{qE}{m} \sin \omega t$$

$$a_m = \frac{e\vec{v}}{m} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}$$

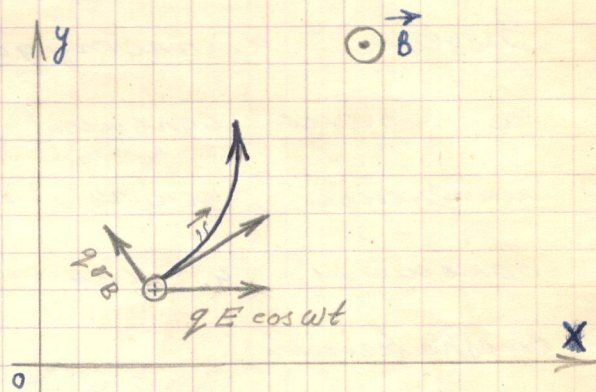
$$\ddot{x} = \frac{qE}{m} \sin \omega t + \frac{e\dot{y}}{m}$$

$$\ddot{y} = \frac{e\dot{x}}{m}$$

σ - напряж. e - заряд
 m - масса, d - радиус между пластинами

Условие резонанса - если частота раскрутки совпадает со спиральн. частотой, равной частоте колебаний эл. поля.

$$a_m = \frac{v^2}{R} = \frac{e\vec{v}}{m} v^2$$



Отсюда: $\frac{eB}{m} = \frac{V}{R} = \text{const} = \omega$

т.е. $m = \frac{eB}{\omega}$

Но это при условии, что шар спираль
мел, т.е. в каждый момент её можно
считать окружностью радиуса R

Т.е. $\frac{\Delta R}{R} \ll 1$ (за 1 оборот)

Значит амплитуда U должна быть
не очень большой но и не очень
маленькой, иначе путь молекул будет
большим и они исчерпают множество
отражений.

Очевидно: $q_e = \frac{Ue}{dm} \sin \omega t$

$$x_e = - \frac{Ue}{dm \omega^2} \sin \omega t$$

$$|x_{em}| = \frac{Ue}{dm \omega^2}$$

Амплитуда колебаний в эл. поле (в отсутствие
магнитного) должна быть $\ll$ размеров коробки

$$\frac{\sigma e}{dm \omega^2} \ll d$$

$$m = \frac{eB}{\omega}; \quad \frac{\sigma e \omega}{d e B \omega^2} \ll d$$

$$U \ll \frac{d^2 B \omega^2 e}{\omega e}$$

$$U \ll d^2 B \omega$$

В трубке кат. газ под давлением
 $\approx 10^{-2} \div 10^{-3}$ мм.рт.ст.

$$\lambda \sim \frac{1}{\rho \sigma} \sim \frac{kT}{\rho \sigma}$$

При ρ порядка 10^{-3} мм.рт.ст.

λ порядка 10 см,

а d порядка 2 см

Тогда U порядка $\frac{1}{10} d^2 B \omega$,

Путь ионов получается порядка 30-40 см

т.е. не столкнется $e^{-\frac{3}{\lambda}}$ ионов,

где-то 1% ионов - т.е. при 10^{-3} мм.рт.ст. разреш. способность ниже.

Т.е.

$$m = \frac{eB}{\omega}$$

или

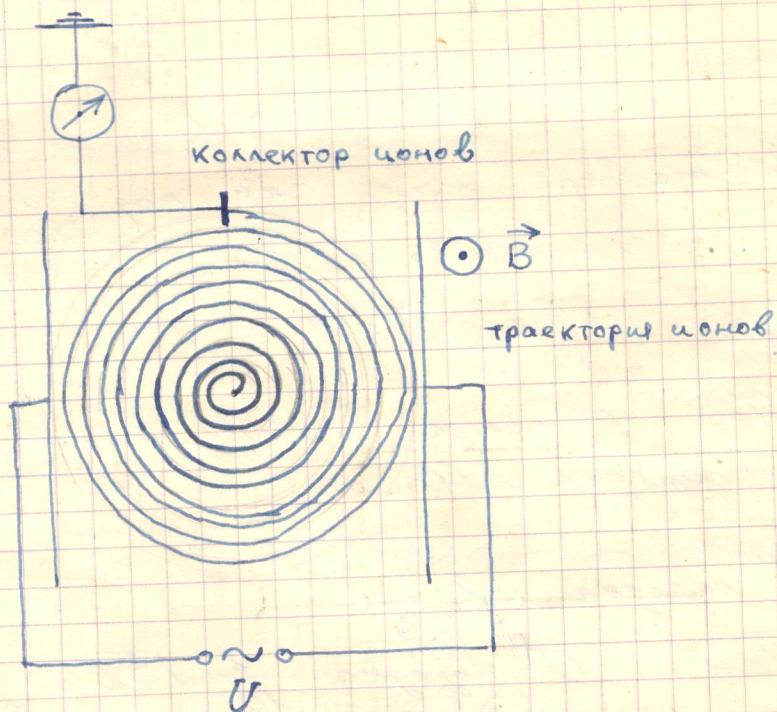
$$m = \frac{eB}{2\pi f}$$

при

$$U \sim \frac{1}{10} d^2 B \omega$$

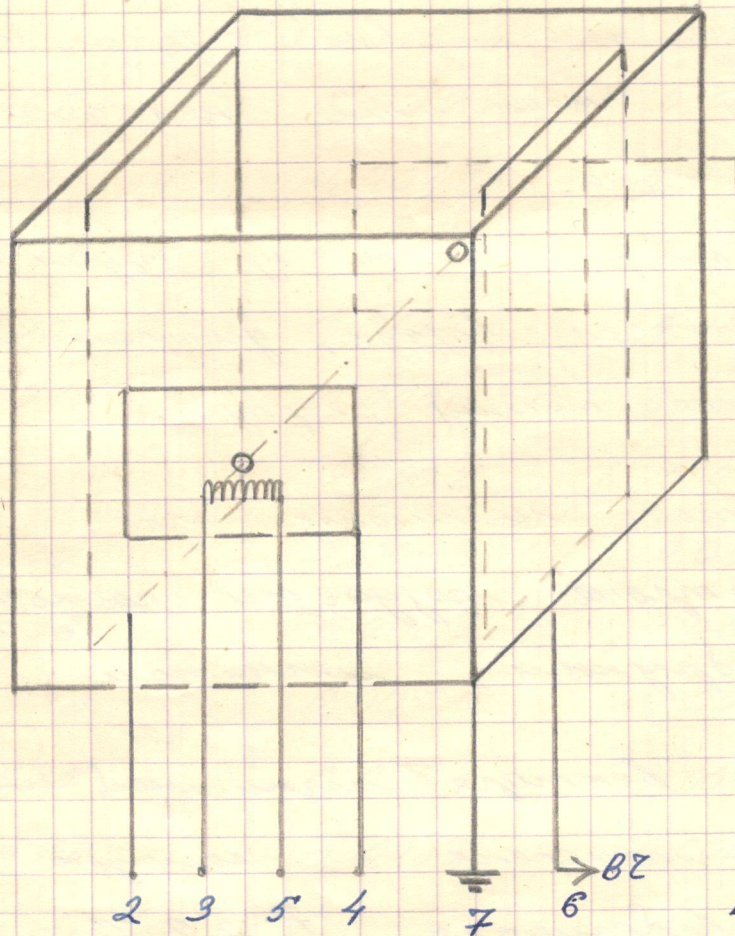
$$U \sim \frac{2\pi}{10} d^2 B f$$

Описание установки.



С нити накала происходит термоэлектронная эмиссия, эти электроны ускоряются в постоянном эл. поле напряжением $150 \sim 200 \text{ В}$, по пути они сталкиваются с ионами и ионизируют их. Ионы, колеблясь в высокочастотном

1. - ~~земля~~
2. - $\equiv$ земля
3. - накал
4. - 150~200 В
5. - накал
6. ~ ВЗ
7. - $\equiv$ земля



1. поле, при совпадении частоты колебаний
 с резонансной частотой начинают раскру-
 чиваться по спирали и попадают на
 коллектор ионов. Цонный ток измеряет -

ся (скачала усилитель) микроамперметром.
Подбирая частоту ГВЧ находим резонансную
частоту (точ. миним. максимума) и
знаем заряд иона равный заряду элек-
трона и магн. поле находим
массу иона.

Сам прибор состоит из трубки, из
которой откачен воздух, усилитель малых
токов, блока питания, корпус.

Постоянное магнитное поле
в оного трубки создается постоянным
подковообразным магнитом.

Величина вектора магнитной индук-
ции была измерена с помощью
микро ватметра Р 5050

Катушка $d = 8 \text{ мм}$: $W = 25 \text{ ваттов}$

$$B = \frac{\Phi}{SW} = \frac{4\Phi}{\pi d^2 W}$$

N independent

Φ , mBs

$|\Phi - \Phi_p|$ mBs

$|\Phi - \Phi_p|^2 (\text{mBs})^2$

1.

0,1465

0,0122

0,00014884

2.

0,1500

0,0087

0,00007569

3.

0,1631

0,0044

0,00001936

4.

0,1690

0,0103

0,00010609

5.

0,1578

0,0009

0,00000089

6.

0,1583

0,0002

0,00000004

7.

0,1630

0,0043

0,00001849

8.

0,1656

0,0069

0,00004761

9.

0,1520

0,0067

0,00004489

10.

0,1525

0,0062

0,00003844

11.

0,1675

0,0088

0,00007744

$\Sigma = 1,7455$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\Phi_i - \Phi_p)^2}{n(n-1)}}$$

$\Phi_p = 0,1587$

$\sigma = 0,002$

$\Phi = 0,159 \pm 0,002 \text{ mBs}$

$B = 1,3 \pm 0,3 \cdot 10^{-1} \text{ T}$

Известно:

$$m = \frac{eB}{2\pi f}$$

$$m = \frac{3,3 \cdot 10^{-21}}{f}$$

где $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

$$B = 1,2 \pm 0,08 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$$

f - частота ГВЧ.

с амплитудой

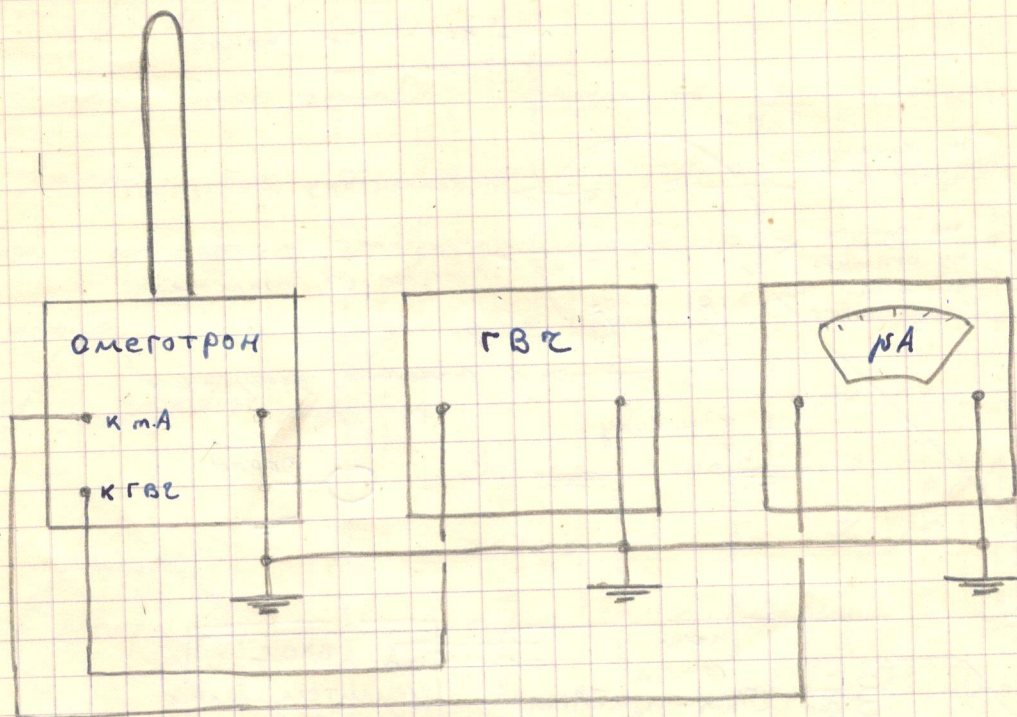
$$U \sim \frac{2\pi}{10} d^2 B f$$

U - порядка $0,1 \div 1 \text{ В}$

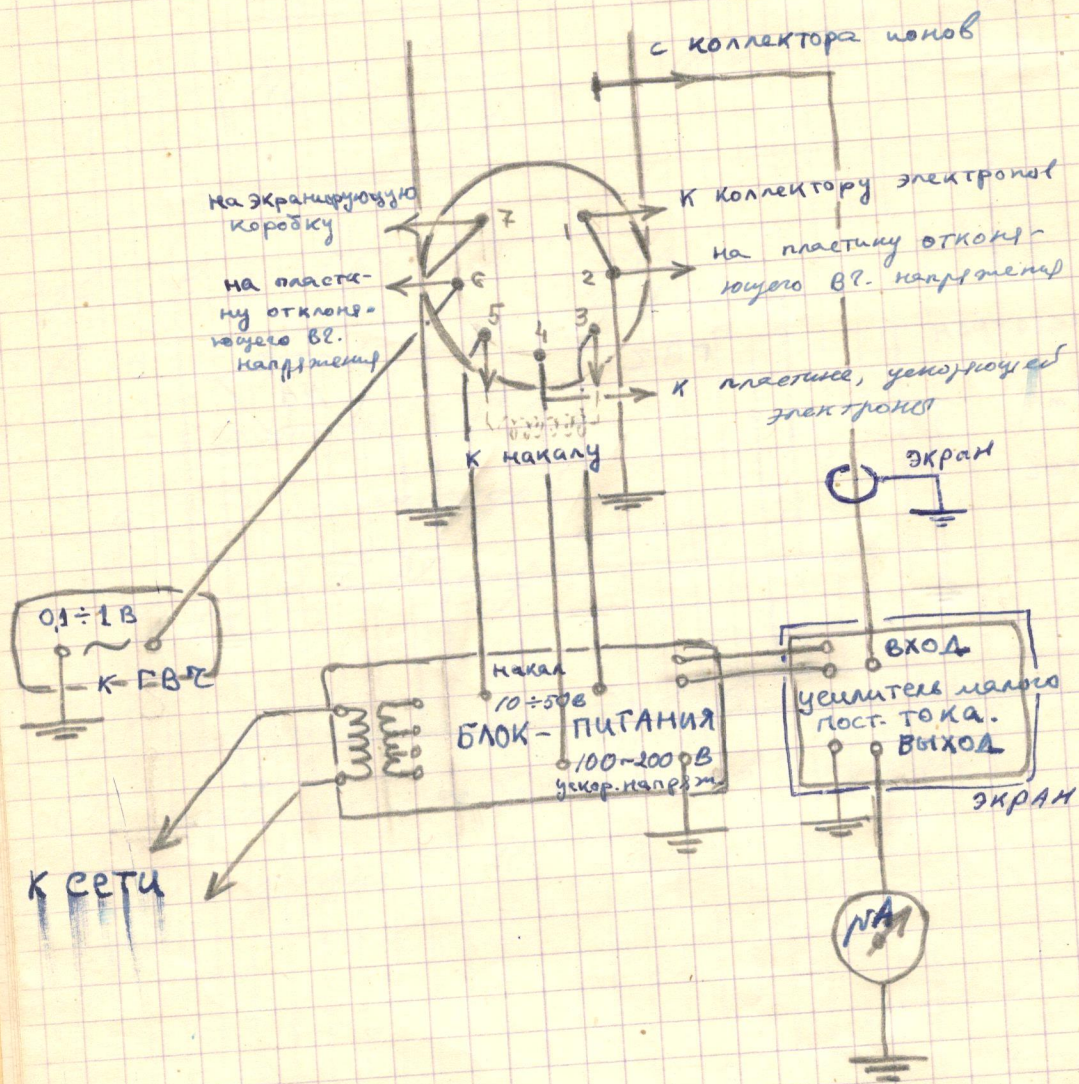
Оптимальное давление в трубе

порядка $10^{-4} \text{ мм.рт.ст.}$

Схема подключения приборов.



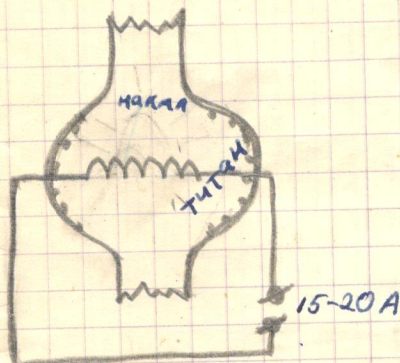
Блок - схема омега-трон.



Давление в лампе было

$\sim 5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.

Для того, чтобы понизить давление, были
расположены остатки титана в трубке,
на которую адсорбировалась часть мо-
лекулы, так удалось понизить давление
в трубке до $5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.



Затем давление удалось
понизить до $7 \cdot 10^{-4}$ мм. рт. ст.
путём отсоса самой
ионизационной лампы

При таком давлении
уже можно было

проводить эксперимент.

Предварительно добившись миниму-
ма ионного тока и закрепив

трубку, были проведены измерения со
след. результатами.

$V, \Gamma y$

ионный ток
(измерен вольтметром в
относит. единицах)

200

180

160

150

140

135

130

125

126

128

132

120

110

100

90

80

75

70

74

76

77

73

72

71

70

69

65

60

55

50

45

40

35

30

10

~~15~~

25

30

45

60

85

70

80

~~85~~

70

50

20

10

10

10

30

20

40

~~25~~

~~20~~

30

10

15

20

15

10

10

10

10

10

10

10

10

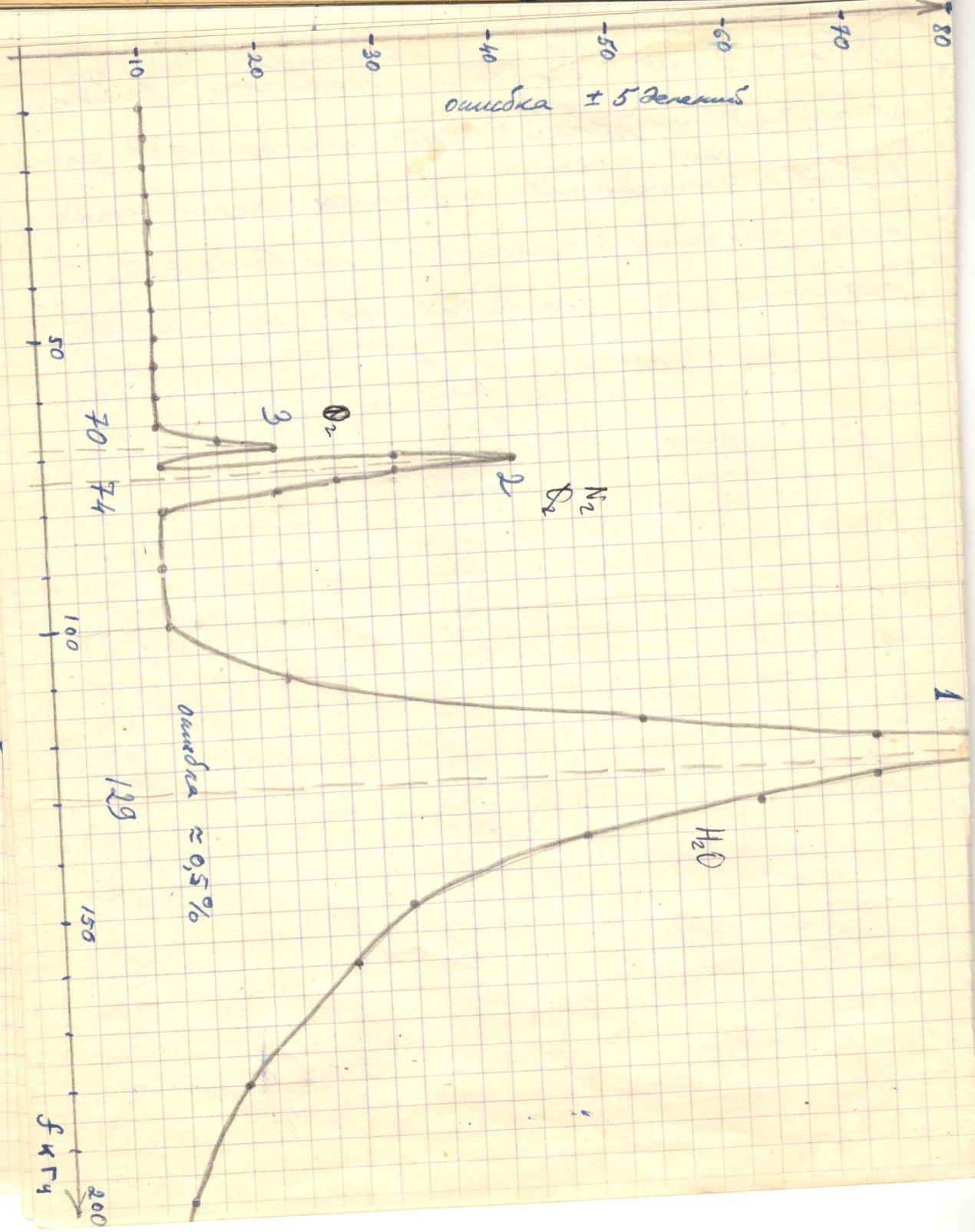
10

129 - максимум

74 - максимум

70 - максимум

III. к. Были большие наводки, почка,
колебания стрелки, то приходилось долго
ждать успокоения стрелки около сред-
него значения, отсюда невысокая
точность и длительность измерений



$$m_1 = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 43 \cdot 10^{-1} \text{ Тл}}{6,28 \cdot 129 \cdot 10^5 \text{ Гц}} = 2,6 \pm 0,5 \cdot 10^{-26} \text{ Кл}$$

$$m_2 = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 13 \cdot 10^{-1} \text{ Тл}}{6,28 \cdot 0,74 \cdot 10^5 \text{ Гц}} = ~~4,7~~ \pm 0,75 \cdot 10^{-26} \text{ Кл}$$

$$m_3 = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 13 \cdot 10^{-1} \text{ Тл}}{6,28 \cdot 0,70 \cdot 10^5 \text{ Гц}} = 4,8 \pm 0,75 \cdot 10^{-26} \text{ Кл}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} \approx 3 \cdot 10^{-26} \text{ Кл}$$

$$m_1 \approx m_{\text{H}_2\text{O}} \text{ (пары воды)}$$

$$m_{\text{N}_2} = 5 \cdot 10^{-26} \text{ Кл}$$

$$m_2 \approx m_{\text{N}_2} \text{ (азот)}$$

$$m_{\text{O}_2} = 5,33 \cdot 10^{-26} \text{ Кл}$$

$$m_3 \approx m_{\text{O}_2} \text{ (кислород)}$$

Получаем приблизительное соответствие опыта с теорией.

Измерения проводятся с ускоряющим
напряжением 100 В
и с напряжением ВЧ колебаний
с амплитудой $0,3 \text{ В}$

Оптимальное напряжение ускорения
для ионизации газов будет порядка
 $100 - 200 \text{ В}$, т.к. сечение ионизации максимально
при этом ускоряющем напряжении.
Оптимальная амплитуда колебаний ВЧ

будет $0,3 \text{ В}$.

При меньших напряжениях прирост
энергии на одном витке спирали
меньше, значит условия приближения спирали
к окружности точнее, но тогда будут
ионов больше, они чаще сталкиваются, в
результате резонансной максимума умень-
шается и разрушающая способность падающей
мощности ионизаций уменьшается.

При больших напряжениях прирост
энергии на одном витке увеличивается,

поэтому считать уже кельв не рассматривать как окружность, значит кельв в пределах мощности измерений кельватся формулой $m = \frac{eV}{2\pi f}$, при очень больших напряжениях прибор просто не будет работать как масс-спектрометр.

Поэтому при давлении в трубе $7 \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст. оптимальное напряжение $\approx 0,3$ В

$$\frac{v}{R} = \omega, \quad v = \omega R$$

$$\frac{mv^2}{2} = E = \frac{m(\omega R)^2}{2}$$

$$\frac{2Ue}{n} = \frac{m(\omega R)^2}{2}$$

$$n = \frac{4U}{m(\omega R)^2}$$

$$n = \frac{1.038 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}{3 \cdot 10^{-26} \cdot 36 \left(10^5 \cdot 10^{-2} \text{ m} \right)^2} = \frac{10^{-19}}{6 \cdot 10^{-27} \cdot 10^8} = \frac{100}{6} = 15$$