

СЧЕТЧИК АТМОСФЕРНЫХ ИОНОВ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ФОТОРЕГИСТРАТОРОМ И ДИНАМИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОМЕТРОМ

П. К. Прюллер, О. В. Сакс

Автоматизация работы аспирационного счетчика ионов и применение регистрирующих приборов значительно расширили возможность проведения систематических исследований атмосферной ионизации.

Ниже рассматривается аппаратура, примененная в 1960—1963 гг. для измерения ионизации атмосферы г. Тарту комбинированным счетчиком [Рейнет, 1955, 1956], установленным в центре г. Тарту в главном здании Тартуского гос. университета. При этих измерениях комбинированный счетчик ионов был перестроен авторами данной работы и приспособлен к измерению ионизации атмосферы с автоматическим фоторегистратором или с динамическим электрометром и регистрирующим прибором.

Комбинированный счетчик ионов представляет собой аспирационный счетчик, работающий по методу заряжения [Имянитов, 1957], т. е. по методу заземляемой внутренней обкладки [Гаммет, 1967]. Этим счетчиком можно измерять концентрации ионов, начиная с легких ионов и кончая ультратяжелыми ионами (предельная подвижность от $k_0 = 2,5$ до $0,00025$ см²/сек·в), используя один электрометр и два измерительных цилиндрических конденсатора: конденсатор легких ионов и конденсатор тяжелых ионов. Соответственно предельной подвижности изменяют напряжение внешнего электрода конденсатора U или расход воздуха Φ .

1. Комбинированный счетчик ионов

Основными узлами комбинированного счетчика ионов являются вертикальный конденсатор легких ионов 3, горизонтальный конденсатор тяжелых ионов 1 и электрометр в камере 7 (рис. 1).

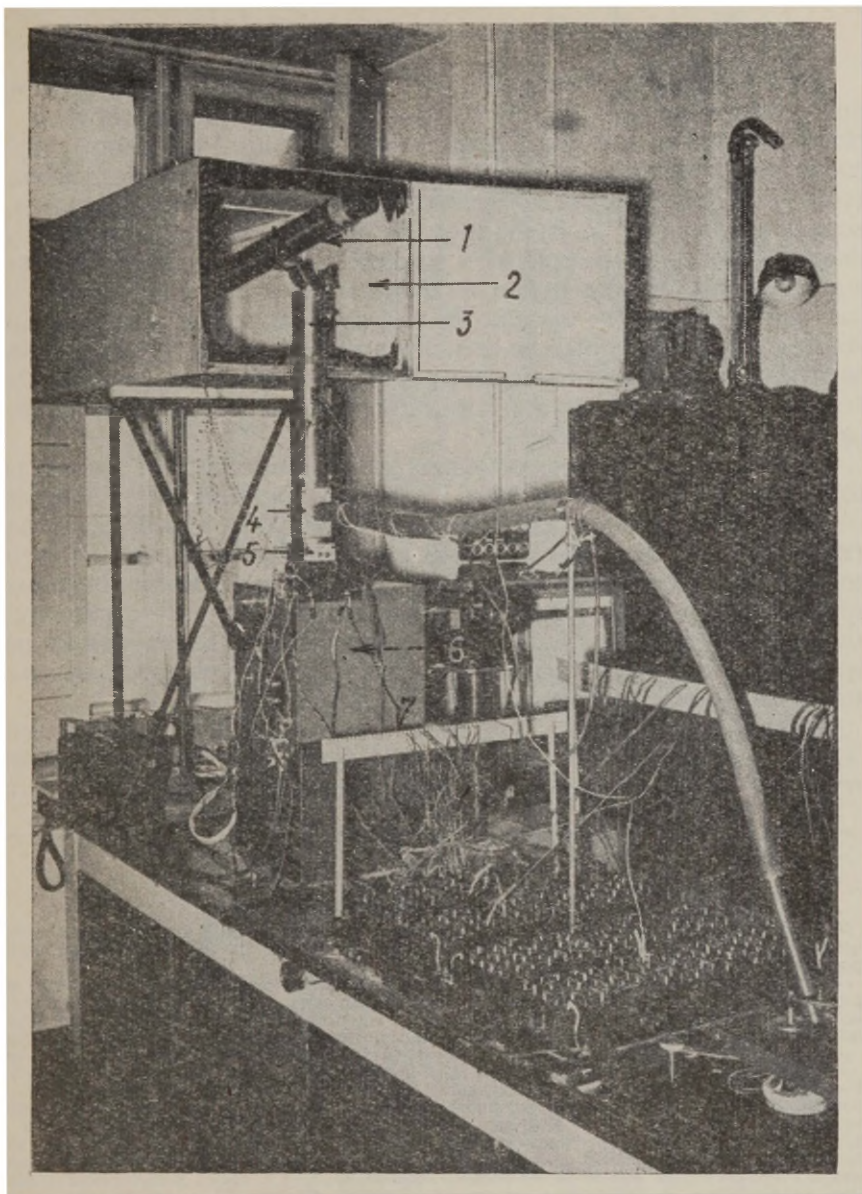


Рис. 1. Комбинированный счетчик ионов. 1 — конденсатор тяжелых ионов; 2 — воздушный канал; 3 — конденсатор легких ионов; 4 и 5 — камеры, соединяющие конденсатор легких ионов с камерой электрометра; 6 — место электрометра в камере; 7 — камера электрометра.

1.1. Конденсатор счетчика легких ионов

Конденсатор легких ионов 3 соединен с экранирующей камерой электрометра 7 двумя соединительными камерами 4 и 5. Боковая стенка камеры 4 снабжена штуцером, к которому присоединена резиновая трубка, соединяющая счетчик с ротаметром (рис 1). Верхняя часть конденсатора легких ионов 3 находится в воздушном канале 2, сделанном из фанеры, с поперечным сечением $0,47 \text{ м} \times 0,57 \text{ м} = 0,27 \text{ м}^2$ и длиной 1,75 м. Входное отверстие конденсатора легких ионов находится на расстоянии 1,63 м от постоянно открытого окошка. В том же воздушном канале помещается горизонтальный конденсатор тяжелых ионов, входное отверстие которого находится на расстоянии 15 см от окошка. Ось этого конденсатора находится над землей на расстоянии 3,3 м и над уровнем моря — 41,5 м.

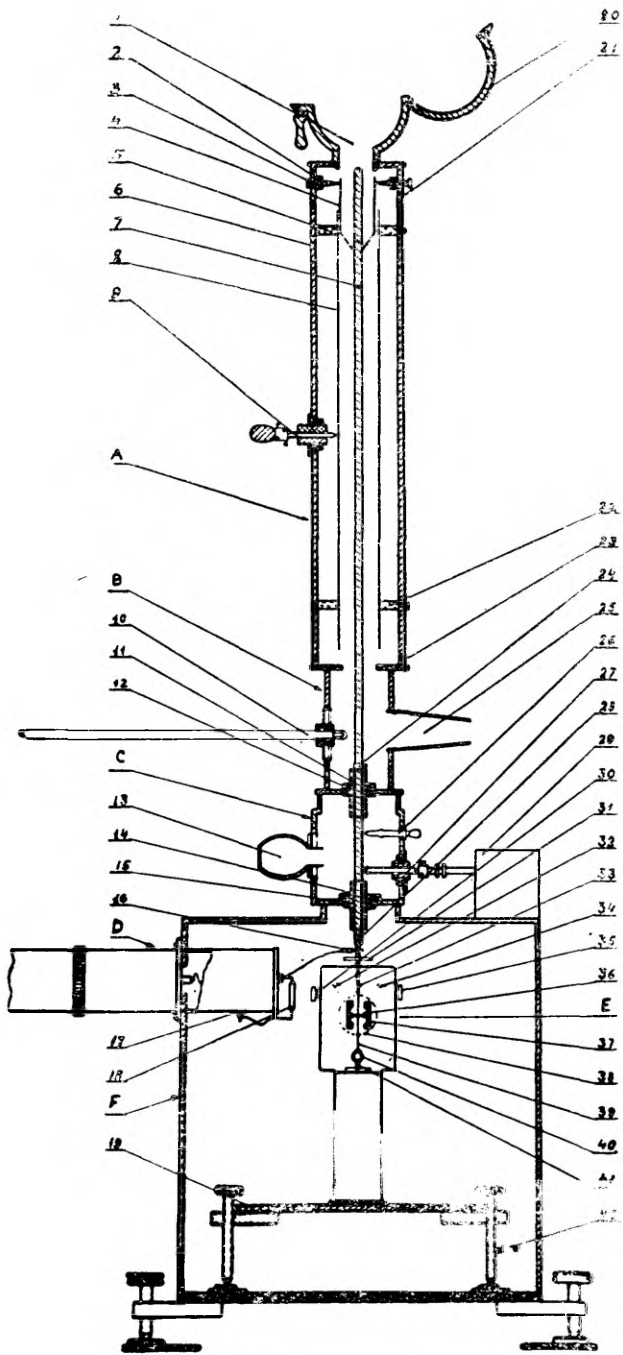
Схема счетчика легких ионов после перестройки конденсатора дана на рис. 2. При перестройке внешний электрод 8 [длина $l = (37,22 \pm 0,01)$ см, радиус $R = (1,708 \pm 0,003)$ см] остался без изменений, но поддерживающие его изоляторы были заменены кольцеобразными изоляторами 5 и 22, удаленными от торцевых краев электрода 8. Этим практически полностью устранилась влияние переходных процессов поляризации в изоляторах на результаты измерения. Благодаря этому заметно укоротилось минимально необходимое время измерения.

Внутренний электрод 7 [радиус $r = (0,296 \pm 0,001)$ см] конденсатора изолирован от заземленного корпуса двумя янтарными втулками 11 и 14, укрепленными в эбонитовых кольцах 12 и 15.

Рис. 2. Схема счетчика легких ионов.

А — цилиндрический конденсатор; В и С — камеры, соединяющие конденсатор с камерой электрометра; F — металлическая камера электрометра; D — динамический электрометр; E — электрометр СГ-1М.

1 — отверстие для впуска воздуха; 2 — кольцо из органического стекла; 3 — один из трех конических изоляторов, предохраняющих замыкание электростатического защитного цилиндра Сванна со внешним электродом конденсатора легких ионов; 4 — цилиндр Сванна; 5, 22 — кольца из органического стекла, поддерживающие внешний электрод; 6 — заземленный корпус счетчика; 7 — внутренний электрод; 8 — внешний электрод; 9 — пружинный изолированный контакт для подачи напряжения на внешний электрод; 10 — термометр; 11, 14 — янтарные втулки — держатели внутреннего электрода; 12, 15 — эбонитовые кольца, окружающие янтарные втулки 11 и 14; 13 — осушитель изоляторов внутреннего электрода; 16 — контакт для соединения динамического электрометра с внутренним электродом; 17 — клемма заземления; 18 — высокоомное сопротивление динамического электрометра; 19 — треножник электрометра СГ-1М; 20 — скоба-держатель конденсатора тяжелых ионов; 21 — цилиндрическая крышка с тремя коническими янтарными изоляторами, — держатели защитного цилиндра Сванна; 23 — резьба для соединения корпуса счетчика легких ионов с камерой В; 24 — металлическое кольцо — держатель внутреннего электрода; 25 — штуцер; 26 — клемма заземления внутреннего электрода; 27 — контакт заземления внутреннего электрода или подачи контрольного напряжения на внутренний электрод через фоторегистратор; 28 — контакт для соединения электрометра СГ-1М с внутренним электродом; 29 — реле автоматического фоторегистратора; 30, 35 — барабаны полей электрометра; 31 — диск для защиты электрометра от пыли; 32, 34 — контакты для подачи напряжения на ножи электрометра; 33 — контакт для заземления электрометра; 36 — индекс электрометра; 37 — ножи электрометра; 38 — контур микроскопа; 39 — подвесная кварцевая нить; 40 — кварцевые дужки; 41 — стержень для крепления кварцевой системы электрометра; 42 — клемма для заземления корпуса электрометра.



Внутренний электрод 7 соединен с электрометром Е. Для защиты от краевого эффекта внутренний электрод снабжен электростатическим защитным цилиндром Сванна 4 [Swann, 1914]. Последний опирается на три янтарных конуса 3, которые при помощи кольца 2 из органического стекла прикреплены к стенке отворачивающейся цилиндрической крышки 21. Янтарные конусы позволяют точно отцентрировать цилиндр 4.

К боковой стенке камеры В против штуцера 25 для подвода воздуха к ротаметру прикреплен термометр 10, показывающий температуру для определения числа Рейнольдса просасываемого воздуха. Через боковую грань нижней камеры С проходит контакт 26 для ручного заземления внутреннего электрода и контакт 27 для заземления или для подачи контрольного напряжения на внутренний электрод через автоматический фоторегистратор.

Электрометр Е [СГ-1М] опирается на треножник в камере F, куда провода подводятся через эбонитовый диск в задней стенке камеры. При измерении электрометром Е контакт 16 динамического электрометра отключен.

Для предотвращения образования завихрений поток воздуха направляется в цилиндр Сванна через трубку, имеющую обтекаемую форму. Определение числа Рейнольдса для воздушного потока, проходящего через самое узкое место входного отверстия — цилиндр Сванна [$R_1 = (1,254 + 0,003)$ см, $r = (0,296 \pm \pm 0,001)$ см] — показывает, что при измерении легких ионов с расходом воздуха $\Phi = (667 \pm 6)$ см³/сек ламинарность потока в достаточной мере обеспечена [Reinet, 1955, 1956].

Исследования [Reinet, 1958, диссертация стр. 45 и 64] показали, что в случае определенной предельной подвижности ($k_0 = 0,1$ см²/сек · в) значения концентрации ионов, полученные при максимальном расходе воздуха ($\Phi = 667$ см³/сек) и в 2 и 4 раза меньших расходах, не отличались друг от друга в пределах погрешностей измерения.

1.2. Конденсатор счетчика тяжелых ионов

К конденсатору легких ионов с помощью хомута 20 присоединяется горизонтально расположенный цилиндрический конденсатор тяжелых ионов (рис. 3), опирающийся на металлическую подставку. Внешний электрод конденсатора тяжелых ионов [длина $l = (113,0 \pm 0,1)$ см, радиус $R = (1,700 \pm 0,005)$ см] поддерживается двумя кольцами 12 и 14 из органического стекла, прикрепленными винтами к корпусу 26. Для предотвращения влияния поляризации изоляторов на результаты измерения кольца 12 и 14 удалены от торцевых краев электрода 10. Внутренний электрод 11 [радиус $r = (1,270 \pm 0,005)$ см] опирается своими концами на изоляторы: янтарный изолятор 23 вставлен в эбонито-

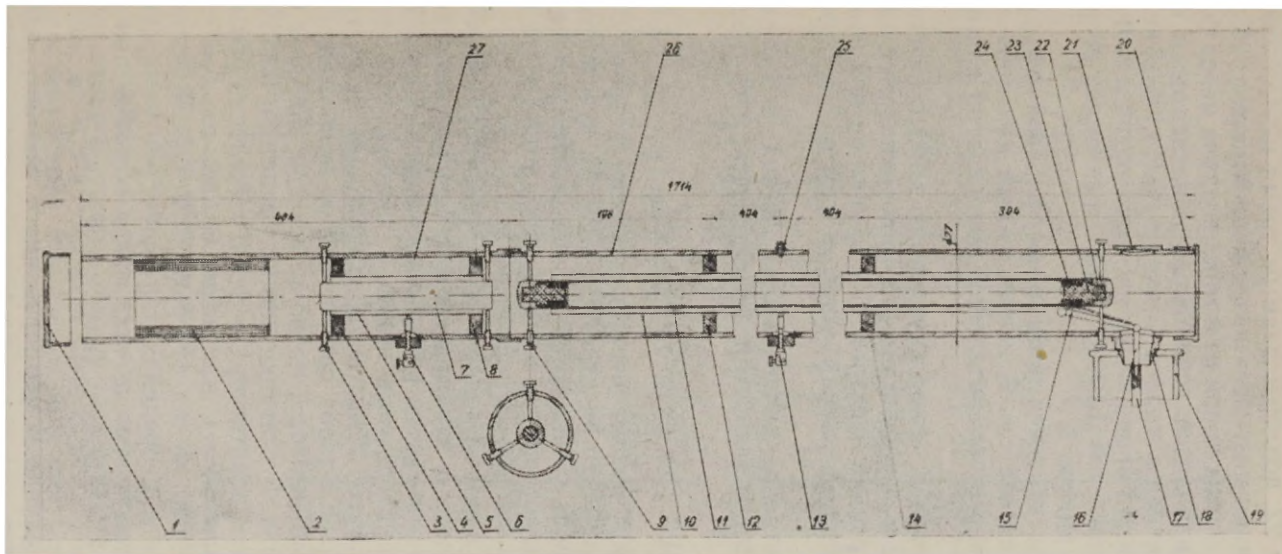


Рис. 3. Схема конденсатора счетчика тяжелых ионов.

1 — защитный клапан; 2 — нагревательный элемент для сушки изоляторов; 3 — винты для центрирования, одновременно заземляющие внутренний электрод добавочного конденсатора; 4 — изолятор; 5 — внешний электрод добавочного конденсатора; 6 — изолированная клемма для подачи напряжения на внешний электрод добавочного конденсатора; 7 — внутренний электрод добавочного конденсатора; 8 — изолятор; 9 — винты для центрирования внутреннего электрода конденсатора тяжелых ионов; 10 — внешний электрод; 11 — внутренний электрод; 12, 14 — изоляторы из органического стекла, держатели внешнего электрода; 13 — клемма для подачи напряжения на внешний электрод; 15 — рычажок, соединяющий электрометр с внутренним электродом; 16 — соединительное звено рычажка; 17 — внутренний электрод конденсатора легких ионов; 18 — стенка обтекаемой формы, окружающая входное отверстие счетчика легких ионов; 19 — цилиндрическая крышка счетчика легких ионов; 20 — крышка, закрывающая отверстие конденсатора тяжелых ионов; 21 — скоба для соединения конденсаторов тяжелых ионов с конденсатором легких ионов; 22 — металлический экранирующий цилиндр изолятора внутреннего электрода; 23 — янтарный изолятор внутреннего электрода; 24 — эбонитовый изолятор внутреннего электрода; 25 — клемма заземления корпуса; 26 — заземленный корпус счетчика; 27 — заземленный корпус добавочного конденсатора.

вый цилиндр 24. Внешний конец изолятора 23 окружен металлическим наконечником 22, поддерживаемым тремя центрирующими винтами 9, проходящими сквозь заземленный корпус 26.

Для улавливания легких ионов из потока воздуха перед большим конденсатором находится добавочный конденсатор в корпусе 27, внешний электрод которого 5 [длина $l = (14,7 \pm 0,1)$ см и радиус $R = (1,700 \pm 0,005)$ см] опирается на изоляторы 4 и 8. Внутренний электрод 7 [радиус $r = (1,270 \pm 0,005)$ см] заземлен посредством центрирующих винтов 3.

Перед добавочным конденсатором в фарфоровой оболочке помещается электронагреватель 2, используемый для пропускания теплого воздуха через измерительный конденсатор для просушки изоляторов.

При измерении тяжелых ионов внутренний электрод конденсатора тяжелых ионов с помощью рычага 15 соединяется с электрометром через внутренний электрод 17 счетчика легких ионов. Внешний электрод счетчика легких ионов в этом случае заземляется.

Напряжение подается на конденсаторы легких и тяжелых ионов и на добавочный конденсатор автоматическим фоторегистратором.

1.3. Электрометр

При использовании автоматического фоторегистратора в счетчике ионов был применен электрометр СГ-1 М, чувствительность которого постоянно равнялась 60 дел/вольт. При подаче на внутреннюю систему электрометра напряжения до 0,5 вольта показания электрометра линейны (рис. 4).

При исследовании влияния поляризации изоляторов счетчика регистрировались показания электрометра в течение одного цикла при соответствующем рабочем режиме автоматического фоторегистратора (продолжительность цикла 4 минуты, где время измерения было 3 минуты). Опыты, доказывающие отсутствие влияния поляризации изоляторов при изменении напряжения на внешнем электроде конденсатора, проводились при наиболее неблагоприятных условиях. В счетчике легких ионов при переходе напряжения на внешнем электроде $U = +100$ в (условно обозначен интервал измерения «+5»), в течение 60 сек на $U = -2$ в (инт. «-1») (рис. 4) отклонения от графика линейной зависимости невелики и лежат в пределах погрешностей измерений. То же самое можно отметить в счетчике тяжелых ионов при переходе напряжения $U = +280$ в (инт. «+5») на $U = -3,5$ в (инт. «-1») (рис. 5).

Таким образом, в случае комбинированного счетчика, влияние поляризации изоляторов практически устранено, и счетчик можно использовать в работе с помощью автоматического фоторегистратора.

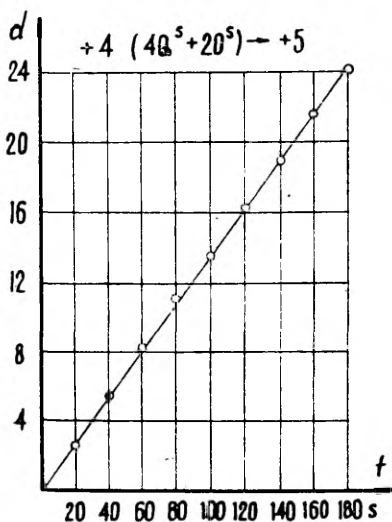
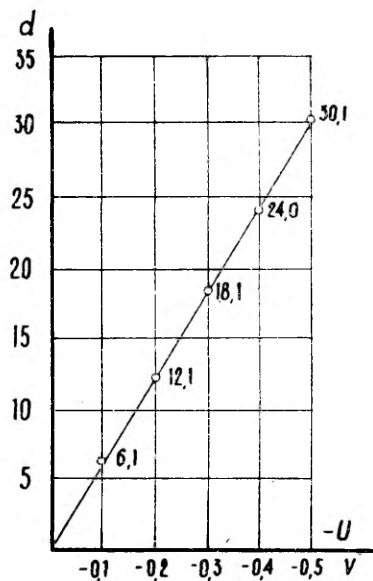
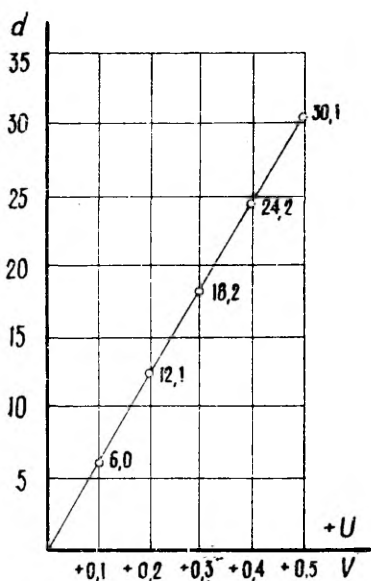


Рис. 4. Верхний ряд: контроль чувствительности электрометра СГ-1М; показания электрометра (d) при подаче на внутренний электрод напряжения до $+0,5$ и $-0,5$ вольт. Нижний ряд: контроль поляризации изоляторов конденсатора легких ионов; показания электрометра (d) при измерении ионизации в течение 180 сек после перехода от напряжения на внешнем электроде $U = +50$ в (инт. «+4») в течение 60 сек на напряжение $U = +100$ в (инт. «+5») и то же самое после перехода от напряжения $U = +100$ в (инт. «+5») на напряжение $U = -2$ в (инт. «-1»).

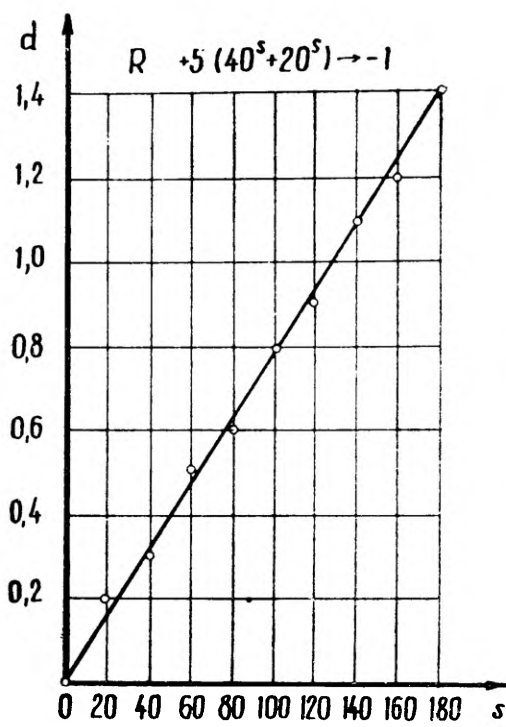


Рис. 5. Контроль поляризации изоляторов конденсатора тяжелых ионов; показания электрометра (d) при измерении ионизации в течение 180 сек после перехода от напряжения на внешнем электроде $U = +282$ в (инт. «+5») на напряжение $U = -3,5$ в (инт. «-1»).

1.4. Расчетные формулы для комбинированного счетчика ионов

1.4.1 Счетчик легких ионов

При указанных размерах конденсатора легких ионов (1.1) по теории аспирационного счетчика [Гаммет 1967 Имянитов 1957] формула для расчета предельной подвижности имеет вид

$$k_0 = (0,007495 \pm 0,000025) \frac{\Phi}{U} \text{ см}^2/\text{сек в}, \quad (1)$$

где относительная погрешность коэффициента $E_{k_0} = 0,3\%$. Φ — расход воздуха; U — напряжение на внешнем электроде.

При использовании расхода воздуха $\Phi = (667 \pm 6) \text{ см}^3/\text{сек}$ по формуле (1) получается

$$k_0 = (5,00 \pm 0,07) \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}, E_{k_0} = 1,2\%. \quad (2)$$

При предельных подвижностях

$$k_0 = 2,5, 1,0; 0,5; 0,1 \text{ и } 0,05 \text{ см}^2/\text{сек} \text{ в}$$

напряжение на внешнем электроде конденсатора по формуле (2) соответственно $U = 2, 5, 10, 50$ и 100 вольт.

Емкость измерительной системы счетчика легких ионов, измеренная мостом емкостей как среднее из 50 измерений

$$C_1 = (38,9 \pm 1,8) \text{ см}, E_{C_1} = 4,8\%.$$

Емкости счетчика легких и тяжелых ионов определялись в 1960 г. с помощью моста типа 650А фирмы Джeneral Радиоконпани (США). В 1968 г. проводилась проверка указанного моста с помощью прецизионного моста емкости типа ВМ 400 фирмы Тесла (Чехословакия) класса 0,1. Показания мостов отличались при измерении емкости воздушного конденсатора ($43,2 \text{ пф}^*$) на $2,1\%$ (т. е. на $0,9 \text{ пф}$), а при емкости $268,4 \text{ пф}^{**}$ на $0,3\%$ (т. е. на $0,7 \text{ пф}$). Таким образом, отклонения показаний моста 650 А находились еще в 1968 г. в пределах погрешностей, указанных в его паспорте. Учитывая точность моста емкости типа ВМ 400, названные разности $0,9 \text{ пф}$ и $0,7 \text{ пф}$ приняты как инструментальные погрешности моста типа 650 А.

При нормальных условиях в атмосфере заряд легкого иона равен одному элементарному заряду

$$e = (1,60206 \pm 0,00003) 10^{-19} \text{ к} = (4,8029 \pm 0,0001) 10^{-10} \text{ СГСЭ} (q)$$

По теории аспирационного счетчика [Таммет, 1967; Имянитов, 1957] формула для расчета концентрации легких ионов (точнее, число элементарных зарядов в 1 см^{-3})

$$n = (270 \pm 13) 10^6 \frac{\Delta U}{\Phi \cdot t} (\text{см}^{-3}). E_n = 4,8\%, \quad (3)$$

где ΔU — изменение потенциала внутреннего электрода (вольт), Φ — расход воздуха ($\text{см}^3/\text{сек}$) и t — время измерения (сек).

На фотограмме фоторегистратора сфотографирована шкала с делениями 1 мм . Для нахождения концентрации ионов разность между конечным и начальным отсчетами фотограммы умножается на концентрацию ионов (см^{-3}), соответствующую одному делению. На фотограмме отсчитывается с помощью лупы разность отсчетов с абсолютной погрешностью $0,1 \text{ мм}$.

Измерения с автоматическим фоторегистратором проведены при чувствительности электрометра СГ-1М

$$\delta = \frac{1}{60} \text{ в/дел} = (0,0167 \pm 0,0002) \text{ в/дел.}, E_\delta = 1,2\%.$$

* $43,2 \text{ пф} = 38,9 \text{ см}$ — емкость измерительного конденсатора легких ионов.

** $268,4 \text{ пф} = 241,5 \text{ см}$ — емкость измерительного конденсатора тяжелых ионов.

При измерениях с фоторегистратором время одного цикла измерения, как арифметическое среднее из 10 серий измерений, каждое по 10

$$t = (180,2 \pm 0,5) \text{ сек}, E_t = 0,3\%.$$

Расход воздуха измеряли ротаметром, калиброванным по скорости вытеснения воздуха из водяного бака и, кроме того, реометром. Она вместе с погрешностью [Reinet, 1958, дисс. стр 43] оказалась следующей:

$$\Phi = (667 \pm 6) \text{ см}^3/\text{сек}, E_\Phi = 0,9\%.$$

Для одного деления фотограммы (1 мм) по формуле (2) рассчитывается концентрация

$$\begin{aligned} n_a &= (270 \pm 13) 10^6 \frac{\Delta U}{\Phi \cdot t} = (270 \pm 13) 10^6 \frac{(0,0167 \pm 0,0002)}{(667 \pm 6) (180,2 \pm 0,5)} = \\ &= (37,6 \pm 2,7) \text{ см}^{-3}, E_{n_a} = 7,2\%. \end{aligned} \quad (4)$$

Концентрация ионов рассчитывается по формуле

$$n = a n_a, \quad (5)$$

где a — разность конечного и начального отсчетов на фотограмме в миллиметрах, и n_a вычисляется по формуле (4). Относительная погрешность числа a , равная $E_a = \frac{0,1}{a}$, меняется в пределах от 1,7% до 0,7%, а $E_{n_a} = 7,2\%$ — постоянная величина.

Максимальная инструментальная относительная погрешность (емкость, чувствительность электрометра, время цикла, расход воздуха и отсчет по фотограмме) при средних концентрациях молионов ($250\text{—}300 \text{ см}^{-3}$) равна 9% и легких ионов ($460\text{—}560 \text{ см}^{-3}$) — 8% концентрации.

При этих инструментальных погрешностях не учтены:

1) погрешность за счет искажения воздушной пробы (потеря концентрации в воздушном канале и у стены здания), расчет которой требует трудоемких специальных исследований. Наши исследования воздушной пробы с помощью портативного счетчика с динамическим электрометром показывают, что потеря концентрации положительных средних ионов ($k_0 = 0,02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$) под влиянием стены (портативный счетчик на дворе на расстоянии 3 м от стены) равна 3% и в воздушном канале (длина 1,6 м) — 6%, в сумме 9%, т. е. равна инструментальной погрешности. У тяжелых ионов (счетчик у окна) рассчитывается только влияние стены, т. е. 3%;

2) влияние температуры на расход воздуха, которое проявляется только зимой. При температуре калибровки ротаметра (лаборатории) 15°C и при минимальных среднемесячных зимних

температурах от -5°C до -10°C эта погрешность увеличивает концентрацию ионов от 7% до 9% концентрации, т. е. зимой частично компенсирует погрешность воздушной пробы. Уровень естественного γ -излучения перед окошком воздушного канала равен (20 ± 8) микрорентгена/час, что соответствует нормальному фону γ -радиации.

Проведенные в 1962 г 17 измерений положительных средних ионов ($k_0 = 0,02$ см²/сек · в) попеременно счетчиком легких ионов, снабженным электрометром СГ-1М, и динамическим электрометром (гл. 3) показывают хорошее совпадение концентрации. Средняя разница 1%, а максимальная 5% от концентрации, измеренной электрометром СГ-1М.

1.4.2. Счетчик тяжелых ионов

Формула для расчета предельной подвижности

$$k_0 = (0,00041 \pm 0,00001) \frac{\Phi}{U} \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}, \quad E_{k_0} = 2,5\%. \quad (6)$$

При использовании расхода воздуха $\Phi = (171 \pm 4)$ см³/сек $E_{\Phi} = 2,4\%$ [Reinet, 1958, дисс. стр. 43] по формуле (6) получается

$$k_0 U = (0,070 \pm 0,004) \text{ см}^2/\text{сек}, \quad E_{k_0} = 5\%. \quad (7)$$

Емкость добавочного конденсатора $C_3 = 25,2$ см. При расходе воздуха $\Phi = 171$ см³/сек и напряжении на добавочном конденсаторе $(5,4 \pm 0,3)$ в улавливаются все ионы, подвижность которых $k \geq 0,1$ см²/сек · в.

При измерении средних тяжелых ионов с расходом воздуха $\Phi = 171$ см³/сек в интервалах $0,1 > k \geq 0,01$, $0,1 > k \geq 0,001$ и $0,1 > k \geq 0,00025$ см²/сек в напряжения на внешнем электроде конденсатора по формуле (7) равны соответственно 7,0, 70,0 и 280 вольт.

Емкость измерительной системы счетчика тяжелых ионов (среднее из 50 измерений) $C_2 = (241,5 \pm 1,8)$ см, $E_{C_2} = 0,8\%$.

Формула для расчета концентрации тяжелых ионов (точнее число элементарных зарядов в 1 см⁻³)

$$N = (1676 \pm 14) 10^6 \frac{\Delta U}{\Phi \cdot t}, \quad E_N = 0,8\%, \quad (8)$$

где ΔU — изменение потенциала (вольт) внутреннего электрода; Φ — расход воздуха (см³/сек) и t — время измерения (сек).

Для одного деления фотограммы (1 мм) по формуле (8) рассчитывается концентрация

$$N_a = (1676 \pm 14) \cdot 10^6 \frac{(0,0167 \pm 0,0002)}{(171 \pm 4)(180,2 \pm 0,5)} =$$

$$= (908 \pm 43) \text{ см}^{-3}, E_{N_a} = 4,7\%. \quad (9)$$

Концентрация рассчитывается по формуле (5)

$$N = a N_a. \quad (5a)$$

Относительная погрешность числа a меняется в пределах от 2% до 4%, а $E_{N_a} = 4,7\%$ — постоянная величина.

Максимальная инструментальная относительная погрешность (емкость, чувствительность электрометра, время цикла, расход воздуха и отсчет по фотограмме) при средних концентрациях средних ионов ($2300\text{—}2400 \text{ см}^{-3}$) равна 9% и тяжелых ионов ($4200\text{—}4600 \text{ см}^{-3}$) — 7%. К этим погрешностям прибавляются погрешность воздушной пробы (—3% концентрации) и зимой погрешность влияния температуры на расход воздуха (от 7% до 9% концентрации).

2. Автоматический фоторегистратор

В 1953—54 годах в Тартуском государственном университете сконструирован первый фоторегистратор, описанный в работе [Saks, 1956]. На основании накопленного опыта в 1957—59 гг. был сконструирован более совершенный фоторегистратор АФР, который применялся при измерениях ионизации в г. Тарту в 1960—1963 гг.

АФР состоит из двух основных блоков: фотокамеры и коммутатора. Общий вид и расположение их в рабочем состоянии показаны на рис. 6, а принципиальная схема прибора — на рис. 7.

2.1. Камера

Камера предназначена для регистрации отсчетов электрометра СГ 1М и для фиксации времени проведения измерений.

В цилиндрической кассете камеры (рис. 6, поз. 3) находится барабан окружностью 280 мм. Барабан покрывается фотобумагой шириной 120 мм. На этой бумаге фотографируются отсчеты электрометра.

Оптическая схема устройства изображена в верхней части рис. 7. Осветитель S_2 , окна электрометра E и микроскоп M расположены на одной оптической оси. С помощью микроскопа типа Мир-1 проектируется увеличенное изображение индекса (отсчетной нити) электрометра на горизонтальную щель камеры. Щель имеет размеры 100×2 мм. Через щель изображение попадает на барабан T , который располагается в непосредственной

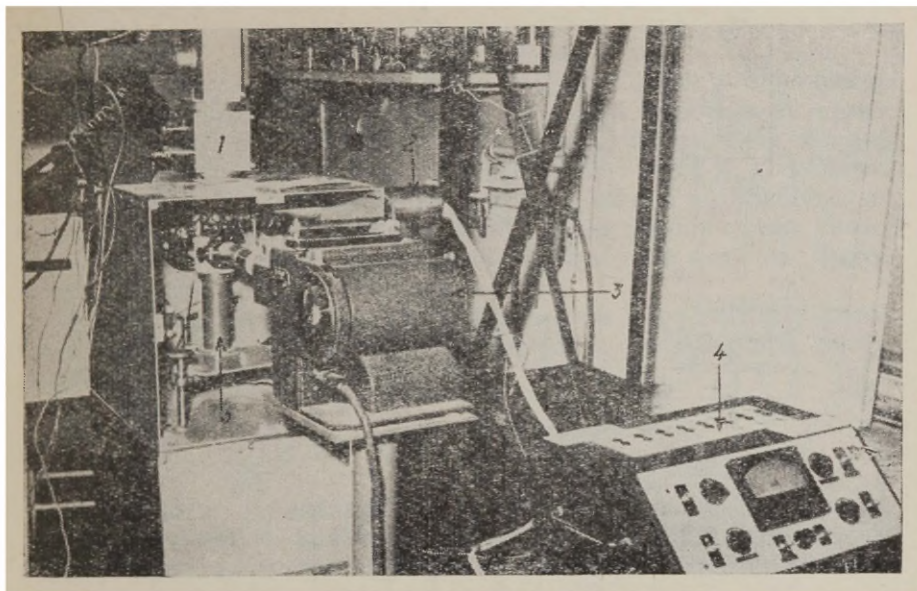


Рис. 6. Общий вид автоматического фоторегистратора к счетчику атмосферных ионов. 1 — камера, соединяющая конденсатор легких ионов с камерой электрометра; 2 — входной блок динамического электрометра; 3 — фоторегистратор; 4 — коммутатор автоматического фоторегистратора; 5 — электрометр.

близости за щелью и покрыт фотобумагой. Таким образом, фотографируется на фотобумаге не все изображение индекса электрометра, а только (рис. 8) та часть, которая проектируется через щель. Фотографирование производится путем включения лампочки на две секунды. После освещения электромагнит EM_4 автоматически поворачивает барабан на 2 мм вперед.

Для облегчения чтения (расшифровки) фотограммы на ней фотографируются также деления шкалы, помещенной перед щелью. Шкала представляет собой прозрачную пленку, на которой через каждый миллиметр нанесены непрозрачные деления. Кроме того, миллиметровые деления разделены низкими штрихами. В начале фотограммы проектируются также цифры шкалы.

На левом краю фотограммы автоматически регистрируется время проведения измерения. Для этого в камере имеется специальный механизм.

На двух непрозрачных пленочных цилиндрах К сделаны прозрачные цифры, на одном — от 00 до 59, а на другом — от 0 до 23. Регистрация времени производится путем включения лампочки S_3 , освещающей цифры на цилиндрах. Цифры проекти-

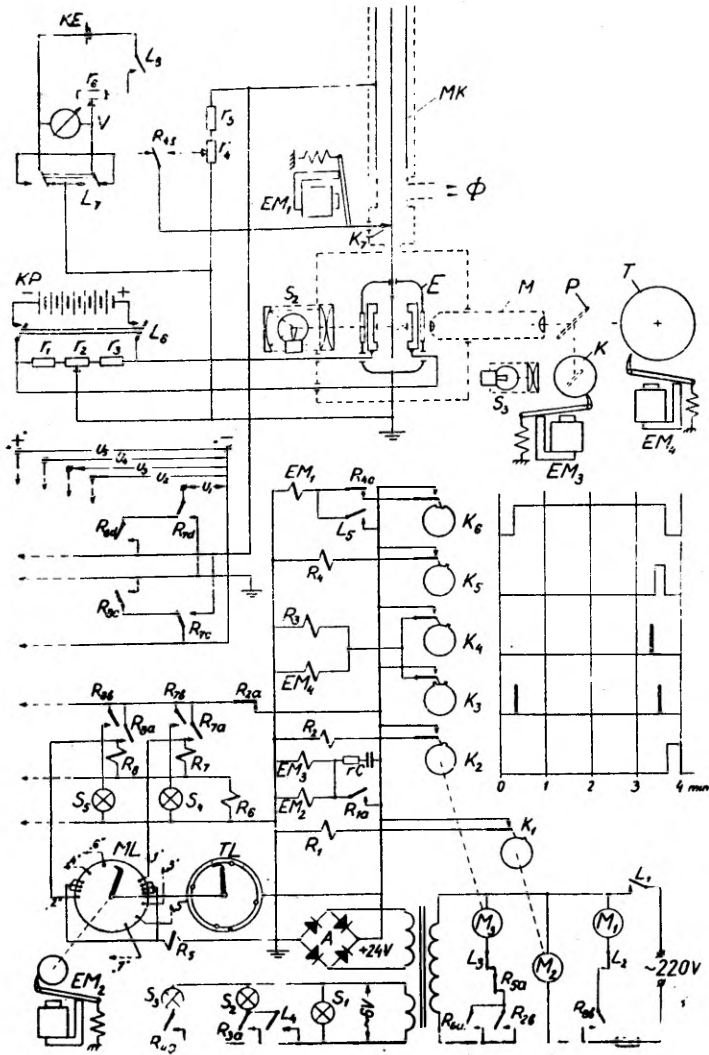


Рис. 7 Принципиальная схема автоматического фоторегистратора.

МК — измерительный конденсатор счетчика ионов; Ф — поток воздуха с постоянным расходом; Е — электромотор; М — микроскоп; П — зеркала для проекции знаков времени; Т — барабан с фотобумагой; К — пленочные цилиндры со знаками времени; S₁ — сигнальная лампочка на панели коммутатора; S₂ — осветитель к электромотору; S₃ — осветитель для фотографирования знаков времени; S₄—S₁₇ — сигнальные лампочки пределов измерения; EM₁ — электромагнит контакта заземления; EM₂ — электромагнит программного включателя; EM₃ — электромагнит механизма вращения пленочных цилиндров; EM₄ — электромагнит механизма вращения барабана; ML — минутный включатель; TL — часовой включатель; R₁ — силовое реле для передачи импульсов электромагнитам EM₂ и EM₃; R₂ — реле, замыкающее цепь мотора M₃ для привода контактных систем K₂—K₆ в начальное положение; R₃ — реле, включающее источник света S₂; R₄ — реле, служащее для включения источника света S₃ и для подачи контрольного напряжения на внутреннюю систему МК; R₅ — реле для продления промежутка времени аспирации от 3 до 6 минут; R₆ — реле, включающее моторы M₁ и M₃; R₇—R₂₀ — реле, подающие напряжение на измерительный конденсатор МК; M₁ — электро-

руются с помощью линзы и зеркальца Р на краевую полосу фотограммы. Пленочные цилиндры вращаются под действием электромагнитного (ЕМ₃) часового механизма.

Так как окружность барабана составляет 280 мм, а одно фотографирование охватывает 2 мм, то на одной фотограмме помещается 140 снимков. Если фотографируются также цифры шкалы, то возможное количество снимков уменьшается на 4. О количестве сделанных снимков можно судить по шкале на боковой части камеры. После совершения необходимого количества снимков оператор отделяет кассету с барабаном от камеры. Фотограмма проявляется в темной комнате.

В качестве фотоматериала применяется стандартная фото бумага «Унибром» № 3 размером 24×30 см. Из одного листа получаются две фотограммы.

2.2 Коммутатор

Коммутатор предназначен для автоматического приведения в действие счетчика ионов по программе, заданной оператором, и для управления всеми операциями, из которых состоит каждый цикл измерения. Эти операции следующие:

а) подается напряжение на внешний электрод счетчика и включается вентилятор;

б) после истечения 20 секунд с момента выполнения операции по пункту а) от внутренней системы счетчика удаляется контакт заземления К₇;

в) фотографируется начальное положение индекса электрометра и поворачивается барабан на 2 мм;

г) после истечения 3 минут (или 6 минут при предельной подвижности $k_0 = 2,5 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$) с момента операции по пункту в) фотографируется положение индекса электрометра, соответствующее заряду накопленных ионов и поворачивается барабан;

д) подается контрольное напряжение на электрометр, фото-

мотор вентилятора; М₂ — синхронный двигатель типа СД-2 для создания импульсов тока с периодом 1 мин.; М₃ — синхронный двигатель типа СД-2 для вращения вала контактных систем К₂—К₆ со скоростью 1 оборот за 4 мин.; К₁ — контакт для создания импульсов с периодом 1 мин.; К₂—К₆ — контактные системы, управляющие всеми операциями в течение каждого цикла измерения; К₇ — контакт заземления внутренней системы измерительного конденсатора; L₁ — выключатель сетевого напряжения; L₂ — выключатель вентилятора; L₃ — переключатель режимов «автоматически-визуально»; L₄ — выключатель осветителя S₂ для визуальных измерений; L₅ — выключатель контакта К₇ (электромагнита ЕМ₁); L₆ — выключатель батареи КР; L₇ — переключатель полярности калибровочного напряжения; L₈ — выключатель калибровочного напряжения; КР — батарея БАСГ-90 питания пластин электрометра; КЕ — источник питания калибровочного потенциометра г₆; А — селеновый выпрямитель на 24 в; V — вольтметр для калибровки электрометра; г₁ и г₃ — резисторы делителя напряжения; г₂ — потенциометр установки электрического нуля электрометра; г₄ — потенциометр регулировки напряжения контрольного отсчета; г₅ — резистор делителя напряжения; г₆ — потенциометр источника напряжения для калибровки электрометра.

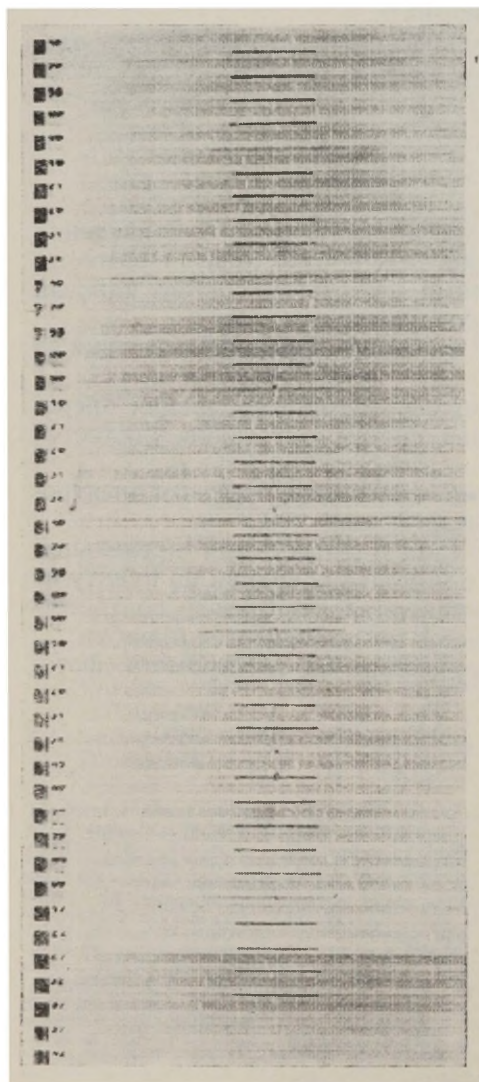
графируется соответствующее положение индекса (контрольный отсчет) и поворачивается барабан;

е) регистрируется время (часы и минуты) проведения цикла;

ж) счетчик, электрометр и все механизмы приводятся в начальное состояние.

Из вышеуказанного следует, что отсчеты электрометра фотографируются в течение каждого цикла измерения три раза. Необходимость в этом вызвана следующими причинами.

После отключения контакта K_7 на внутренней системе счетчика остается заряд со случайной величиной, отклоняющий ин-



1/V 1962 г.

Р и с. 8. Фотограмма автоматического фоторегистратора.

декс электрометра от нулевого деления шкалы. Это начальное отклонение необходимо учесть при определении заряда, накопленного только посредством ионов. Благодаря двукратному фотографированию, в начале и в конце аспирации воздуха, расстояние между положениями изображения индекса на фотограмме пропорционально величине заряда, накопленного ионами.

Третье фотографирование индекса в каждом цикле измерения, т. н. контрольный отсчет, облегчает чтение (расшифровку) фотограммы. В контрольном отсчете закодирована информация о предельной подвижности и полярности ионов, накопленных в течение данного цикла. При контрольном отсчете отклонение индекса электрометра от нулевого деления шкалы пропорционально напряжению, поданному на внешний электрод счетчика. Масштаб выбран таким образом, что на фотограмме одному миллиметру соответствует напряжение 10 в на внешнем электроде счетчика.

Одна из фотограмм, датированная 1 мая 1962 г. с началом в 1 ч. 4 мин, приведена на рис. 8. Черными горизонтальными линиями, нанесенными вручную, разделяются полосы фотограммы, соответствующие отдельным циклам измерений. Вертикальные, белые жирные штрихи высотой 2 мм представляют собой изображения индекса электрометра. В каждом цикле (между черными линиями) на первой сверху полосе сфотографирован начальный отсчет, на второй — конечный, а на третьей — контрольный отсчет.

2. 3. Электрическая схема

Ниже рассматривается электрическая схема АФР изображенная на рис. 7.

АФР позволяет автоматически регистрировать до 14 разных диапазонов ионного спектра, из них 7 положительных и 7 отрицательных. Временная программа измерений задается оператором путем расположения штепселей на шкалах программного устройства, основными узлами которого являются: минутный включатель МЛ и часовой включатель ТЛ. АФР может работать непрерывно или с перерывами в зависимости от заданной программы.

Стрелки ТЛ и МЛ совершают один оборот, первая — за одни сутки, вторая — за 1 час. Гнездо часового включателя присоединено к источнику питания +24 в. АФР включается автоматически в те часы, когда стрелка ТЛ находится в контакте со штепселями.

Рассмотрим работу программного устройства в тот период, когда стрелка ТЛ имеет контакт с одним из штепселей. Контактное время стрелки со штепселем длится 56 минут. В течение этого периода стрелка минутного включателя МЛ, соединенная

с источником питания через стрелку TL, включает реле $R_7—R_{20}$. Последние срабатывают в такой же последовательности, в какой штепсели (с номерами реле) вставлены в гнезда ML. Каждое из реле $R_7—R_{20}$ соединено с одним из штепселей ML гибким проводником. В зависимости от программы могут быть вставлены в гнезда все 14 штепселей или же меньшее количество в любой последовательности. На рис. 7 показаны только реле R_7 и R_8 , так как остальные $R_9—R_{20}$ представляют собой аналогичные пары. Реле $R_7—R_{20}$ совершают переключения в цепях аккумуляторной батареи, служащей источником напряжения $U_1—U_5$, подаваемого на измерительный конденсатор МК. При срабатывании реле с нечетными номерами $R_7—R_{19}$ клемма «плюс» аккумуляторной батареи заземляется, а клемма «минус» соединяется с внешней обкладкой измерительного конденсатора МК. При срабатывании остальных реле (с четными номерами $R_8—R_{20}$) происходит обратное подключение, т. е. на МК подается положительное напряжение. Вышеуказанные переключения совершаются контактными группами $R_{7c}—R_{20c}$ и $R_{7d}—R_{20d}$.

Контактные группы $R_{7a}—R_{20a}$ служат для выдержки этих реле во включенном состоянии и после того, когда контакт между штепселем ML и стрелкой размыкается. Стрелка ML, сдвигаясь скачкообразно, останавливается у каждого штепселя всего лишь в течение одной минуты, а цикл измерения длится 4 минуты, в течение которого очередное реле из $R_7—R_{20}$ должно обеспечить выдержку напряжения на МК.

Срабатывание каждого реле $R_7—R_{20}$ сопровождается включением соответствующих сигнальных лампочек $S_4—S_{17}$, которые питаются через контактные группы, обозначенные индексом «b» (R_{7b} , R_{8b} и т. д.)

Последовательно с обмотками реле $R_7—R_{20}$ включена обмотка реле R_6 , поэтому реле R_6 срабатывает каждый раз при включении любого из реле $R_7—R_{20}$. Контактная группа реле R_6 замыкает цепи питания вентилятора М (контакт R_{6b}), а также синхронного двигателя M_3 (контакт R_{6a}). Двигатель M_3 поворачивает ось кулачковой контактной системы, совершающей один оборот за 4 минуты. В течение этого времени, которое будем в дальнейшем называть «циклом», контакты $K_2—K_6$ совершают включения, переключения и выключения по программе, указанной на графике (рис. 7).

В течение первых 20 секунд с начала цикла не происходит никаких включений, кроме тех, которые происходят при срабатывании реле $R_7—R_{20}$. 20 секунд достаточно для установления стационарных процессов в измерительном конденсаторе после подачи напряжения (поляризация диэлектриков, стационарный ток ионов).

На 20-й секунде электромагнит EM удаляет контакт заземления K_7 от внутреннего электрода МК. С этого момента начи-

нается возрастание или убывание потенциала внутреннего электрода МК за счет накапливаемых ионов.

После удаления контакта K_7 фотографируется начальное положение индекса электрометра. Для этого контакт K_3 замыкает цепь реле R_3 , при срабатывании которого включается осветитель S_2 (контакт R_{2a}), срабатывает электромагнит EM_4 . Экспозиция длится 2 секунды. После этого барабан камеры поворачивается на $1/140$ часть полного оборота под действием пружины магнита EM_4 .

Следующее фотографирование индекса электрометра происходит по истечении трех минут со времени первой экспозиции, когда контакт K_4 замыкает цепи реле R_3 и EM_4 . Разность показаний электрометра пропорциональна среднему току ионов, накопленных в течение трех минут.

Немедленно после окончания второй экспозиции при посредстве контакта K_5 срабатывает реле R_4 , контактная группа которого совершает следующие включения и переключения:

- 1) R_{4a} — включает осветитель S_3 для фотографирования знаков времени;
- 2) R_{4b} — переключает контакт K_7 на потенциометр r_4 ;
- 3) R_{4c} — размыкает ток в цепи EM_1 , вследствие чего контакт K_7 подключается к внутреннему электроду измерительного конденсатора.

В тот период, когда включено реле R_4 , фотографируется индекс электрометра третий раз в данном цикле. Это и есть контрольный отсчет, о котором упоминалось выше.

Когда до конца цикла остается 20 секунд, контакт K_2 замыкает цепь реле R_2 , которое при срабатывании размыкает цепи реле R_6 и R_7 — R_{20} , в то время как двигатель M_3 не останавливается. Он остается включенным через контактную группу R_{2b} до тех пор, пока ось кулачковой контактной системы K_2 — K_6 не совершила полный оборот.

В связи с тем, что при измерении естественной атмосферной ионизации с предельной подвижностью $k_0 = 2,5$ см²/сек · в заряд, накапливаемый в течение трех минут, обычно небольшой, пришлось увеличить время аспирации до 6 минут. Это обеспечивает большую точность измерения заряда. Для увеличения цикла на три минуты в гнезда МЛ вставлены дополнительные штепсели. Когда стрелка МЛ находится в контакте с дополнительными штепселями, замыкается цепь реле R_5 . Вследствие этого размыкается (контакт R_{5a}) цепь питания двигателя M_3 , который поворачивает ось контактной системы K_2 — K_6 . Каждый дополнительный штепсель продлевает цикл измерения на одну минуту. Таким образом, продлены до 7 минут только циклы измерения при $k_0 = 2,5$ см²/в · сек, а все остальные измерения проводятся с длительностью циклов 4 минуты.

Программное устройство АФР питается импульсами тока, которые следуют с периодом в 1 минуту. Эти импульсы создаются силовым реле R_1 , срабатывающим с помощью контакта K_1 . Последний замыкается периодически кулачковым механизмом, приводимым в действие синхронным двигателем СД-2 (M_2), питаемым от сети. Применение силового реле R_1 обусловлено тем, что электромагниты. EM_2 и EM_3 потребляют ток в сумме около 2 ампер.

Пластины электрометра E подключаются к источнику напряжения KP , в качестве которого применялась сухая батарея БАСГ-90. Электрическая установка нуля производится с помощью потенциометра r_2 . Для калибровки электрометра, а также для установления чувствительности 60 мм на вольт (по шкале камеры АФР) предназначен источник регулируемого напряжения, состоящий из сухого элемента KE , потенциометра r_6 и вольтметра V . Переключатель L_7 служит для изменения полярности регулируемого напряжения.

Напряжение для получения контрольного отсчета снимается с высокоомного делителя напряжения r_4 — r_5 .

На передней панели коммутатора находятся следующие органы управления и контроля: L_1 — включатель сетевого питания; L_3 — переключатель режимов работы «автоматически» — «визуально»; L_5 — включатель электромагнита EM_1 , управляющего контактом заземления K_7 ; L_6 — включатель батареи питания электрометра; L_7 — переключатель полярности источника регулируемого напряжения калибровки; L_8 — включатель источника регулируемого напряжения; V — вольтметр калибровки электрометра; r_2 — потенциометр электрической установки нуля электрометра; r_4 — потенциометр напряжения контрольного отсчета; r_6 — потенциометр источника регулируемого напряжения калибровки электрометра.

3. Динамический электрометр

Динамический электрометр подключен к счетчику легких атмосферных ионов по схеме рис. 9.

От аккумуляторной батареи P на внешний электрод измерительного конденсатора MK подается напряжение U , соответствующее предельной подвижности k_0 . Ток ионов I_x , накопленных на внутреннем электроде счетчика, измеряется по методу падения напряжения U_x на известном сопротивлении R^* .

$$I_x = \frac{U_x}{R^*}. \quad (10)$$

При постоянном напряжении U на измерительном конденсаторе и при постоянном расходе воздуха Φ ток I_x пропорциона-

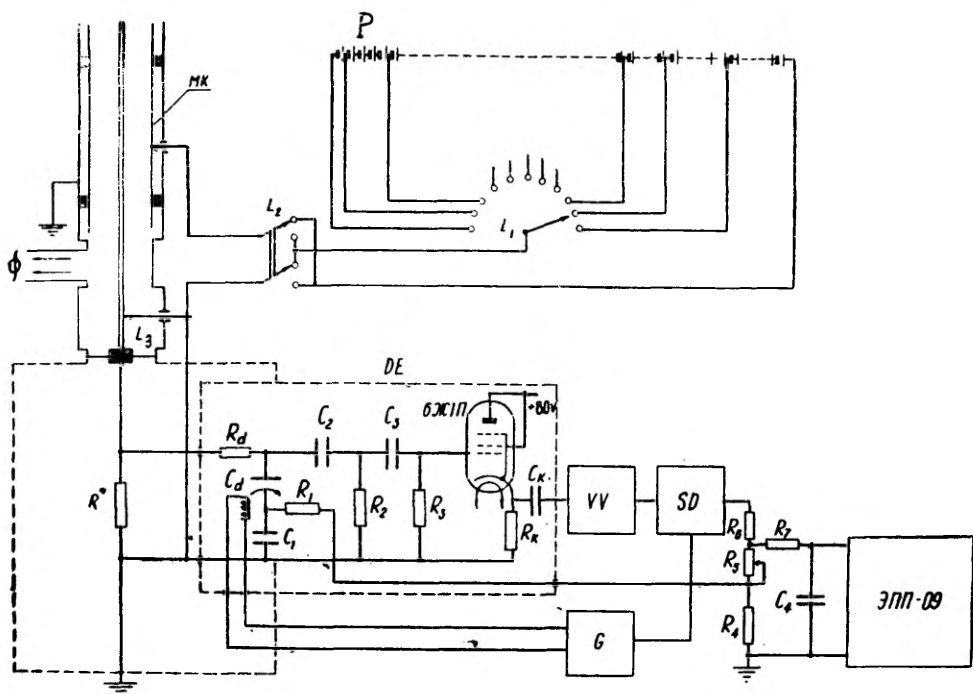


Рис. 9. Принципиальная схема регистрирующего устройства с динамическим электрометром. МК — внешний электрод измерительного конденсатора счетчика ионов; DE — выносной блок динамического электрометра; VV — основной усилитель низкой частоты; SD — синхронный детектор; G — генератор; ЭПП-09 — самопишущий электронный потенциометр; L₁ и L₂ — переключатели напряжения; L₃ — контакт заземления; R* = 8,84 · 10¹⁰ ом; R_d = 10⁹ ом; R₁ = 1 Мом; R₂ = R₃ = 10⁹ ом; R_k = 10 ком; R₄ = 100 ом; R₅ = 470 ом; R₆ = 3 ком; R₇ = ком; C_d = 15 пф; C₁ = 1 мкф; C₂ = C₃ = 15 пф; C_k = 0,1 мкф; C₄ = 4000 мкф.

лен концентрации ионов n в измеряемом воздухе, так как

$$I_x = ne\Phi, \quad (11)$$

где e — величина элементарного заряда в кулонах, Φ — расход просасываемого воздуха (см³/сек).

Из вышеизложенного следует, что

$$n = \frac{I_x}{e\Phi} = \frac{U_x}{e\Phi R^*} = \text{const } U_x. \quad (12)$$

Напряжение U_x измеряется с помощью динамического электрометра, к выходу которого подключен самопишущий потенциометр типа ЭПП-09.

Динамический электрометр, сконструированный В. Резбеном и О. Саксом, представляет собой усилитель постоянного и медленно меняющегося напряжения со структурой модулятор—усилитель—демодулятор [Лоог и др., 1965]. В качестве модулятора применен динамический конденсатор, описанный в работе [Сакс, 1963].

Динамический конденсатор C_d (рис. 9) представляет собой конденсатор с плоскопараллельными пластинами. Одна из пластин изолирована от корпуса и является неподвижным электродом модулятора. Вторая пластина, соединенная с корпусом, совершает колебательное движение под действием электромагнита, питаемого от генератора G гармонического напряжения с частотой 600 гц. Если на неподвижную пластину модулятора подано измеряемое напряжение U_x , тогда оно модулируется с частотой колебаний второй пластины вследствие периодического изменения емкости. Переменная составляющая напряжения, пропорциональная постоянному напряжению U_x , передается через конденсаторы C_2 и C_3 на сетку входного каскада усилителя низкой частоты VV . Входной каскад (на лампе 6Ж1П), представляющий собой катодный повторитель, помещен в выносной блок вместе с динамическим конденсатором C_d и деталями входной цепи. Основной усилитель VV , синхронный детектор SD (по схеме кольцевого диодного демодулятора) и генератор G помещены в единый блок.

Общий коэффициент усиления устройства стабилизирован отрицательной обратной связью по постоянному напряжению (фактор $K\beta \geq 30$, где K — коэффициент усиления устройства при отсутствии обратной связи, β — коэффициент, показывающий, какая часть выходного сигнала подается обратно на вход усилителя) Напряжение обратной связи сглаживается фильтром R_1C_1

С помощью резисторов R_4 — R_6 выбрано отношение выходного и входного напряжения таким образом, что полной шкале самопишущего прибора соответствует концентрация ионов $n=4000 \text{ см}^{-3}$. Прибор снабжен шкалой в единицах концентрации ионов.

С помощью интегрирующей цепи R_7C_4 и соответствующей регулировки усилителя электронного потенциометра постоянная времени всей измерительно-регистрающей системы выбрана равной 10 сек. При указанной постоянной времени система не чувствительна к флуктуациям, вызванным случайными толчками по счетчику ионов, колебаниями напряжения сети и другими случайными причинами.

Значение измерительного резистора R^* определялось с помощью тераомметра, сконструированного К. Леппиком под руководством В. Резбена и О. Сакса [Леппик, 1962]. R^* определено как среднее из четырех измерений:

$$R^* = (8,48 \pm 0,21) \cdot 10^{10} \text{ ом.}$$

Относительная погрешность определения значения резистора $\delta = 2,5\%$ представляет сумму инструментальных погрешностей тераомметра, которая не превышает 2% , и случайной погрешности четырех измерений $0,5\%$.

Чувствительность по напряжению на всю шкалу регистрирующей системы, соответствующая концентрации ионов $n = 4000 \text{ см}^{-3}$, определяется из формулы

$$U_{x, \text{шк}} = neR^*\Phi, \quad (13)$$

где

$n = 4000 \text{ см}^{-3}$, точно заданная величина	
$e = (1,6021 \pm 0,0001) \cdot 10^{-19} \text{ к}$, относительная погрешность	0,006 %
$R^* = (8,48 \pm 0,24) \cdot 10^{10} \text{ ом}$,	2,5 %
$\Phi = (667 \pm 6) \text{ см}^3/\text{сек}$	0,9 %
итого	3,5 %

$$U_{x, \text{шк}} = 4000 \cdot 1,6021 \cdot 10^{-19} \cdot 8,48 \cdot 10^{10} \cdot 667 = (0,0362 \pm 0,0013) \text{ вольт.}$$

Нестабильность рабочего тока регистрирующего потенциометра, нелинейность его реохорда и другие факторы, влияющие на результаты измерения, учтены классом точности потенциометра $\pm 0,5\%$.

Суммарная относительная погрешность регистрации концентрации ионов не превышает суммы вышеуказанных погрешностей, т. е. $\pm 4\%$ от максимального значения шкалы. Соответствующая абсолютная погрешность не превышает

$$\Delta n = \pm 0,04 \cdot 4000 = \pm 160 \text{ см}^{-3}$$

Следует отметить, что эта погрешность является только суммой инструментальных погрешностей, к которой следует прибавить погрешности искажения воздушной пробы, указанные в гл. 1.4.1.

С помощью динамического электрометра и регистрирующего потенциометра измерялась концентрация положительных ионов с предельной подвижностью $k_0 = 0,02 \text{ см}^2/\text{сек}$ в.

* *
*

Благодаря автоматизации процессов измерения, П. Прюллеру удалось накопить обширный фактический материал о состоянии ионизации атмосферы города Тарту за период VIII. 1960 — VII. 1963 г. [Прюллер и др., 1966]. Общее количество измерений, сделанных в течение трех лет с помощью вышеописанного счетчика ионов с автоматическим фоторегистратором и динами-

ческим электрометром, составляет 40 376. В том числе 1 560 отсчетов было сделано с помощью динамического электрометра. По имеющимся данным динамический электрометр с регистрирующим устройством применен П. Прюллером впервые в Советском Союзе при измерениях атмосферной ионизации. Результаты исследования приводятся в настоящем сборнике в статье: «Исследование спектра атмосферных ионов, гигиеническое и биометеорологическое значение ионизации атмосферы по данным измерений в г. Тарту».

ЛИТЕРАТУРА

- Имянитов И. М., Приборы и методы для изучения электричества атмосферы. М., Гостехтеоретиздат, 1957, 483 стр.
- Леплик К., Тераомметр с линейной шкалой. ТГУ. дипломная работа. Тарту, 1962.
- Лоог П. К., Мадисе Т. В., Мяртинсон Э. Э., Пиквер Р. И., Резбен В. А., Сакс О. В., Сальм Я. И., Таммет Х. Ф., Электрометры с виброемкостным преобразователем, разработанные в Тартуском государственном университете. Материалы Всес. научн.-техн. совещания по радиоэлектронным методам измерений электрических напряжений и омических сопротивлений. Таллин, 1965, стр. 58—67.
- Прюллер П. К., Сакс О. В., Рийв Я. Я., Ионизация атмосферы и метеорологические элементы в г. Тарту с августа 1960 г. по июль 1963 г. и их гигиеническое значение. — В сб.: Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, стр. 195—198.
- Рейнет Я. Ю., Комбинированный счетчик атмосферных ионов. — АН СССР Институт технико-экономической информации. М., 1955, тема 4, № ПС-55-409, стр. 1—17.
- Рейнет Я. Ю., Комбинированный счетчик атмосферных ионов. — Тр. Гл. геофиз. обсерв., 1956, 58 (120), 23—20.
- Рейнет Я. Ю., Об изменении ионизации атмосферы в гор. Тарту. — Автореферат дисс. канд. физ.-мат. наук, Тарту, 1958, 15 стр. (ТГУ). Библ. 16 назв.
- Сакс О. В., О конструкции динамического конденсатора для счетчика атмосферных ионов. Тр. Всес. научн. метеорологического совещания, т. 9. Л., Гидрометеиздат, 1963, стр. 303—306.
- Таммет Х. Ф., Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. — Уч. зап. ТГУ, 1967, 195, 232 стр.
- Reinet, J., Atmosfääri ionisatsiooni muutustest Tartus. Tartu, 1958 — füüs.-mat. kandidaadiväitekiri (Рейнет, Я. Об изменениях ионизации атмосферы в г. Тарту. Тарту, 1958 — дисс. канд. физ.-мат. наук).
- Saks, O., Automaatne fotograafilineioonide loendaja. — TRÜ Toimet., 1956, 42, 84—93.
- Swann, W. F. G., On certain matters relating to the theory of atmospheric electric measurements. — Terr. Magn. a Atmos. Electr., 1914, 19, 205—218.

Поступила 28/III 1968 г.

AUTOMAATSE FOTOREGISTRAATORIGA JA DÜNAAMILISE ELEKTROMEETRIGA IOONIDE LOENDUR

P Prüller, O. Saks

Resümee

Ioonide aspiratsioonloenduri töö automatiseerimine ja ise-registreerivate seadmete kasutamine laiendab ulatuslikult võimalusi süstemaatiliseks atmosfääri-ionisatsiooni uurimiseks.

Töös vaadeldakse aparatuuri, mida kasutati Tartu atmosfääri ionisatsiooni mõõtmiseks kombineeritud loenduriga [J. Reinet 1955, 1956], mis oli üles seatud Tartu kesklinnas ülikooli peahoone põhjatiivas. Nendeks mõõtmisteks kombineeritud loendur ehitati autorite poolt ümber isolaatorites toimuvate polarisatsiooninähtuste mõju kõrvaldamiseks lugemitele ja kohandati atmosfääri-ionisatsiooni mõõtmisteks automaatse fotoregistraatoriga või dünaamilise elektromeetriga ja isekirjutajaga.

Kirjeldatav kombineeritud loendur on aspiratsioonloendur, mis töötab laengu kasvu, s. o. maandatava sisekatte meetodil ja võimaldab mõõta ionide kontsentratsioone õhus alates kergetest ioonidest kuni ultrarasketeni (piirliikuvused $k_0=2,5$ kuni $0.00025 \text{ cm}^2/\text{s} \cdot \text{V}$), kasutades ühte elektromeetrit ja kahte silindrilist mõõtekondensaatorit (kergete ja raskete ionide kondensaator). Kergete ionide kondensaator on varustatud Swanni elektrostaatilise kaitsega ääreefekti mõju vähendamiseks. Elektromeetrina kasutati elektromeetrit CF-1M tundlikkusega 60 jaot./V kohta. Elektromeetri näidud on võrdelised pingega.

Ioonide kontsentratsioonid arvutati automaatse fotoregistraatori kasutamisel kergete ionide puhul val. 4 ja 5 (keskmine relatiivne viga $E=8-9\%$) raskete ionide puhul val. 9 ja 5a ($E=7-9\%$) ja dünaamilise elektromeetri kasutamisel val. 14 järgi ($E=4\%$). Nende aparatuurivigade puhul ei ole arvestatud:

- 1) õhuproovi viga (kontsentratsiooni kaotus õhukanalis ja maja seina ääres), mis kergete ionide loenduri (mehaanilise või dünaamilise elektromeetriga) puhul on 9% ja raskete ionide loenduri puhul on 3% ;
- 2) temperatuuri mõju õhukulule, mis talvel suurendab ionide kontsentratsioone $7-9\%$ võrra, s. o. osaliselt kompenseerib õhuproovi vea.

Elektromeetri CF 1M ja dünaamilise elektromeetri kasutamise puhul mõõdetud ionide kontsentratsioonid korduvail võrdlemistel ühtisid mõõtmisvigade piires. 1960.—1963. a. mõõtmistel tehti nimetatud laitmatult töötanud aparatuuriga kokku 40 376 üksikmõõtmist.

Automaatne fotoregistraator koosneb fotokaamerast ja kommutaatorist. Kaamera abil registreeritakse fotograafiliselt elektro-

meetri CF-1M näidud ning mõõtmise kellaajad. Elektromeetri näitude registreerimisel kasutatakse mikroskoopi, mis tekitab kaameras elektromeetri vaatevälja suurendatud kujutise. Elektromeetri niidi kujutisest jäädvustatakse fotogrammil 2 mm kõrgune lõik. Mõõtmise kellaageg registreeritakse numbriliselt fotogrammi serval.

Kommutaatori ülesandeks on loenduri automaatne tööerakendamise operaatori poolt valitud programmi kohaselt ning kõigi operatsioonide automaatne juhtimine, millest koosneb iga mõõtmistsükkel.

Kommutaator sisaldab programmseadeldist, milles pistikute paigutus määrab ionide spektripiirkondade registreerimise järjekorra ning kellaajad. Programm võib sisaldada 1—14 spektripiirkonda.

Enamiku spektripiirkondade puhul kulub ionide kontsentratsiooni automaatseks registreerimiseks 4 minutit, mille vältel fotografeeritakse elektromeetri näite kolmel korral: 1) algnäit, 2) kolmeminutilise aspiratsiooni vältel kogutud laengu suurusele vastav näit ning 3) kontrollnäit, mis on võrdeline pingega mõõtekondensaatori väliskattel.

Ioonide kontsentratsiooni pidevaks registreerimiseks ühel piirliikuvusel $0,02 \text{ cm}^2/\text{s}$ V kasutati registreerimisseadist, mis koosneb kerge ionide aspiratsioonloendurist, V Reebeni ning O. Saksa konstrueeritud dünaamilisest elektromeetrist ning isekirjutavast elektronpotentsiomeetrist ЭПП-09. Aspiratsioonloenduris saadud voolu, mis on võrdeline ionide kontsentratsiooniga, registreeriti takistil 10^{11} oomi pingelangu mõõtmise meetodil. Registreerimisseadme ajategur $\tau \approx 10$ s. Kontsentratsiooni registreerimise suhteline viga ei ületa 4% (lisada õhuproovi viga ja temperatuuri mõju viga õhukulule) skaala lõppväärtusest, mis on 4000 e/cm^3

Jooniste seletus

- Joon. 1 — Kombineeritud ionide loenduri välisvaade.
- Joon. 2 — Kerge ionide loenduri skeem.
- Joon. 3 — Raskete ionide loenduri skeem.
- Joon. 4 — Elektromeetri CF—1M tundlikkuse ja isolaatorite polarisatsiooni mõju kontroll kerge ionide ja
- Joon. 5 — sama kontroll raskete ionide mõõtmisel.
- Joon. 6 — Automaatse fotoregistraatori üldvaade.
- Joon. 7 — Automaatse fotoregistraatori põhimõtteline elektriline skeem.
- Joon. 8 — Automaatse fotoregistraatori fotogramm.
- Joon. 9 — Dünaamilise elektromeetri ja iseregistreeriva seadise põhimõtteline skeem.

ION COUNTER WITH AUTOMATIC PHOTORECORDER AND VIBRATING-REED ELECTROMETER

P. Prüller, O. Saks

Summary

Automation of the work to be done by an ion aspiration counter and use of self-recording equipment considerably extend the possibilities of carrying out a systematic study of atmospheric ionization.

The present paper deals with the equipment used to measure atmospheric ionization with a combined ion counter [J. Reinet, 1955, 1956] which had been installed in the northern wing of the main building of Tartu State University situated in the centre of the town of Tartu.

The combined ion counter built for such measurements was reconstructed by its designers to eliminate the effect of the polarization phenomena taking place in the insulators and was adjusted for the measurement of atmospheric ionization by means of an automatic photorecorder or with a vibrating-reed electrometer and a self-recorder.

The combined ion counter is an aspiration counter operating on the principle of an ever-increasing electric charge (i. e. by the method of a groundable internal electrode). It enables one to measure the ion concentration in the atmosphere from small to ultra-large ions (limiting mobility $k_0 = 2.5$ up to 0.00025 cm²/sec V) by making use of one electrometer and two cylindrical measuring condensers (condensers of small and large ions) The condenser of small ions is supplied with a Swann electrostatic safeguard to reduce the action of the end-effect. In the capacity of an electrometer the authors used an electrometer of the type CF-1M with a sensitivity range of 60 degrees per Volt. The readings of the electrometer were proportional to the potential.

Ion concentrations were calculated by means of the automatic photorecorder — in the case of small ions according to formulae 4 and 5 (mean relative error $E = 8-9\%$) in the case of large ions according to formulae 9 and 5a ($E = 7-9\%$). When the vibrating-reed electrometer was used, the concentration was computed in accordance with formula 12 ($E = 4\%$). Repeated comparisons showed that when the electrometer of the type CF-1M and the vibrating-reed electrometer were used, the measured ion concentrations coincided within the limits of the measuring errors. In the period of 1960—1963 altogether 40,376 individual measurements were carried out with the above-mentioned equipment which functioned faultlessly.

The automatic photorecorder consists of a camera and a com-

mutator. The camera photographically records the readings of the electrometer ЦГ-1М and the time of the measurements. To record the readings of the electrometer, a microscope is used which produces a magnified image of the field of vision in the camera. A 2-mm high section of the image of the pointer of the electrometer is recorded on the photograms, the time of measuring is registered numerically on the margin of the photogram.

The task of the commutator is automatically to switch on the ion counter according to the programme chosen by the operator and to carry out the automatic control of all the operations making up a cycle of measurements.

The commutator contains a programming device in which the arrangement of pins determines the order and the time of recording the regions of the ion spectrum. The programme may include 1 to 14 spectral regions.

In case of the majority of the spectral regions, the automatic recording of the ion concentration takes four minutes in the course of which readings of the electrometer are photographed three times: 1) the initial reading, 2) the reading which corresponds to the quantity of the charge accumulated during the three-minute interval of aspiration, 3) the control reading which is proportional to the potential on the measuring condenser.

To measure the ion concentration continuously at one and the same limiting mobility of $0.02 \text{ cm}^2/\text{s V}$ a recording device was used consisting of an aspiration counter of small ions, a vibrating-reed electrometer designed by V. Reeben and O. Saks, and a recording electrical potentiometer of the type ЭПП-09. The electric current in the aspiration counter, which is proportional to the ion concentration, was recorded on a resistor of 10^{11} ohms by the potential drop method. The time factor of the recording device was $\tau \approx 10$ sec. The relative error of recording the ion concentration did not exceed 4% of the end-value of the scale, which is $4,000 \text{ l/cm}^3$.

Explanations of Figures to the Texts

- Fig. 1 — external appearance of the combined ion counter.
- Fig. 2 — diagram of the counter of small ions.
- Fig. 3 — diagram of the counter of large ions.
- Fig. 4 — diagram of checking the sensitivity of the electrometer and the polarization effect of insulators in measuring small ions.
- Fig. 5 — the same in measuring large ions.
- Fig. 6 — general view of the automatic photorecorder.
- Fig. 7 — elementary diagram of the automatic photorecorder.
- Fig. 8 — a photogram taken by the automatic photorecorder.
- Fig. 9 — elementary diagram of the vibrating-reed electrometer and the self-recording device.