

нечной мощности значений. При любых составах смеси протоны ОН-группы поляризовались сильнее. Измерение времени спин-решеточной релаксации  $T_1$  для протонов ОН- и  $\text{СН}_3$ -групп показало, что присутствие соли Фреми почти не влияет на релаксацию этих групп; это свидетельствует о том, что коэффициенты утечки для протонов этих групп очень малы.

Полученные результаты показывают, что в исследованной системе имеется слабое межмолекулярное диполь-дипольное взаимодействие между электронными спинами соли Ферми и протонами ОН- и  $\text{СН}_3$ -групп ацетилацетона. На поляризацию этих групп могут также влиять взаимодействия этих протонов с динамически поляризованными протонами молекул воды. Большие значения коэффициента поляризации ОН-группы по сравнению с  $\text{СН}_3$ -группой можно объяснить наличием быстрого протонного обмена между динамически поляризованными протонами воды и протонами ОН-группы ацетилацетона.

Поступила в редакцию  
19.10 1971 г.

НИИЯФ

УДК 621.317

В. И. ШУМШУРОВ

## ОБ ИНТЕГРИРОВАНИИ МАЛЫХ ТОКОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ РЕЛЕ

Среди приборов электростатической системы особое место занимают электростатические реле. Они применяются совместно с ионизационными камерами [1—5], пропорциональными счетчиками [6] и другими устройствами. Электростатическое реле — простейший электрометрический прибор, который позволяет преобразовать малый квазипостоянный ток (от  $1 \cdot 10^{-15}$  а) в последовательность стандартных импульсов и автоматизировать процесс измерений. Заряд  $Q$ , приходящийся на одно срабатывание электростатического реле, является константой данного прибора:

$$Q = \int_0^T i(t) dt, \quad (1)$$

где  $i(t)$  — интегрируемый ток, а  $T$  — время интегрирования (период срабатывания) [7].

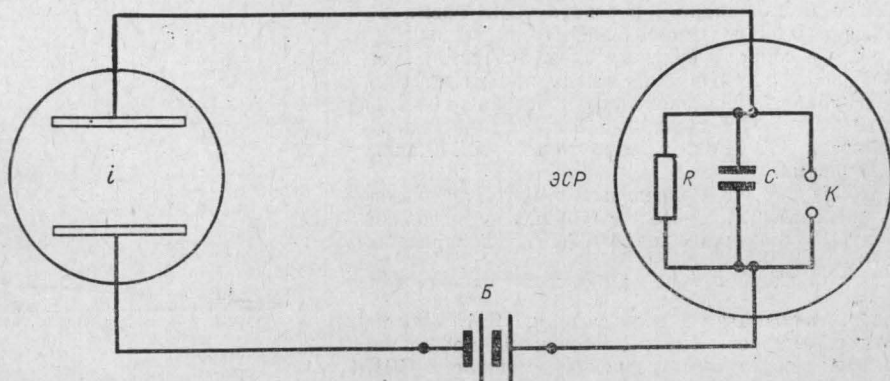


Рис. 1

Для интегрирования тока электростатическое реле включается последовательно с источником тока (камерой, счетчиком), причем особое внимание обращается на снижение токов утечки. Эквивалентная схема включения ЭСР представлена на рис. 1, где  $i$  — источник тока,  $Б$  — батарея питания,  $С$  — электрическая емкость,  $К$  — кон-

такты электростатического реле,  $R$  — сопротивление изолятора. Для интегрирования тока  $1 \cdot 10^{-15}$  а с точностью 1% при напряжении  $10^3$  в необходимо, чтобы сопротивление изолятора  $R = V : i_R$  было  $10^{20}$  ом или более. Ток, текущий по изолятору, является основным каналом утечки заряда в электростатическом реле. Снизить величину этого тока можно путем соответствующего выбора материала для изготовления изолятора (янтарь, плавленый кварц и т. п.), его размеров и чистоты обработки поверхности. Вторым каналом утечки является газ, наполняющий электростатическое реле (между контактами  $K$ ). Рассмотрим возможность снижения этой утечки.

Предположим, что электростатическое реле представляет собой идеальный плоский конденсатор  $C$ , одна обкладка (пластина) которого упруго крепится с помощью пружины  $\alpha$  и может перемещаться под действием электрических сил взаимодействия  $F_э$ , как показано на рис. 2, а. В состоянии равновесия, когда конденсатор заряжен до напряжения  $V$ , упругая сила  $F_y = \alpha x$  будет равна электрической  $F_э$ :

$$F_y = F_э \text{ или } \alpha x = \frac{\epsilon \cdot S V^2}{8\pi (d - x)^2}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  — коэффициент упругости пружины,  $\epsilon$  — диэлектрическая постоянная среды,  $S$  — площадь обкладок,  $d$  — начальное расстояние между ними,  $x$  — смещение подвижной обкладки ( $\pi = 3,14$ ). Выражение (2) показывает, что при  $x \ll d$ ,  $x$  — будет пропорционально  $V^2$ . Состояние системы устойчиво, что позволяет точно измерить смещение  $x$ . По мере увеличения  $V$  смещение  $x$  возрастает и достигает критического значения  $x = x_{кр}$ , при котором система становится неустойчивой. Далее при малейшем увеличении напряжения подвижный электрод устремляется к неподвижному и происходит замыкание контактов  $K$  (электростатическое реле срабатывает). Зависимость смещения  $x$  от напряжения  $V$  показана на рис. 2, б. Значение смещения  $x_{кр}$ , при котором происходит срабатывание, легко определяется из условия  $dV/dx = 0$ . Оказывается, что для плоского конденсатора критическому состоянию соответствует смещение:

$$x_{кр} = \frac{1}{3} d. \quad (3)$$

Если ввести понятие «крутизны характеристики» электростатического реле  $\beta = dx/dV$ , то критическому состоянию соответствует  $\beta \rightarrow \infty$ .

Рассмотрим возможность снижения тока утечки через газ. Величина тока утечки, обусловленная внешней ионизацией газа, может быть снижена уменьшением объема газа в электростатическом реле. Кроме этого, возникает ток за счет ионизации газа электронами, движущимися в электрическом поле электростатического реле. При больших напряженностях поля этот компонент тока лавинообразно нарастает с увеличением напряжения  $V$  на обкладках конденсатора и переходит в коронный разряд при определенном (пороговом) значении напряженности электрического поля  $E_{пор} \approx 30,0 \delta$  кв/см, где  $\delta$  — плотность воздуха, отнесенная к плотности при нормальных условиях, как к единице. В нашем случае влияние разряда можно исключить. Действительно, так как  $x_{кр} = 1/3 d$ , то процесс интегрирования (1) происходит при сравнительно малых  $E$ :

$$E \leq \frac{V_{ср}}{d - x_{кр}} = \frac{3}{2} \frac{V_{ср}}{d}. \quad (4)$$

Так как  $E_{пор}$  зависит от  $\delta$ , то можно исключить влияние коронирования выбором давления газа в электростатическом реле.

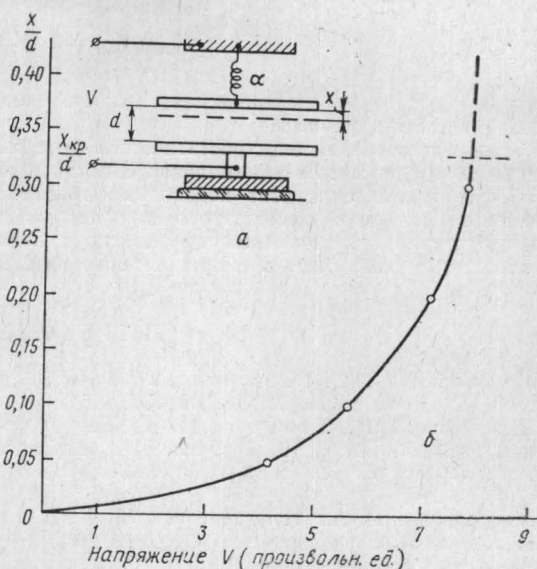


Рис. 2

Газовый разряд в электростатическом реле после прохождения критического состояния  $x_{кр}$  при дальнейшем сближении электродов не возникает. Это обусловлено тем, что за время движения от  $x_{кр}$  до замыкания контактов  $K$  величина заряда  $Q$  остается практически постоянной ( $Q$  — адиабатичность), а следовательно, и  $E$  остается постоянной и всегда меньше  $E_{пор}$ .

Величина заряда  $Q$ , приходящегося на одно срабатывание электростатическое реле, определяется выражением

$$Q_1 = C(x_{кр}) V_{ср} = d \sqrt{\frac{2}{3} \alpha C_0}, \quad (5)$$

где  $C_0$  — начальная электрическая емкость конденсатора при  $x=0$ ,  $\alpha$  — коэффициент упругости пружины.

Для изготовления электростатических реле высокой чувствительности желательно применять конденсаторы минимальной емкости и пружины с малым  $\alpha$ . При изготовлении электростатических реле необходимо обеспечить высокую чистоту обработки поверхностей обкладок конденсатора для исключения влияния неоднородностей поля (токи с острия), которые могут привести к нежелательному эффекту «засыпания» электростатического реле, т. е. прекращению интегрирования зарядов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Neher H. V. The Rev. Sci. Instr., **24**, 99, 1953.
2. Neher H. V. J. Geoph. Res., **69**, 807, 1964.
3. Шаврин П. И., Тельцов М. В., Сенчуро И. Н., Шумшуров В. И., Кочнов В. Т. «Вестн. Моск. ун-та» физ., астроном., № 5, 106, 1967.
4. Anderson H. R., Despain L. G., Neher H. V. Nucl. Instr. and Methods., **47**, 1, 1967.
5. Антонова И. А., Писаренко Н. Ф., Савенко И. А., Шумшуров В. И. «Геомagnetизм и аэрономия», **4**, 781, 1964.
6. Pawelzik J. Kerntechnik **10**, 567, 1968.
7. Шумшуров В. И. «Измерительная техника», № 10, 92, 1971.

Поступила в редакцию  
29.10 1971 г.

НИИЯФ

УДК 535.14

А. Б. КУКАНОВ, Г. А. ЛАВРОВА

### К ТЕОРИИ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗАРЯЖЕННОЙ ТОЧЕЧНОЙ ЧАСТИЦЕЙ, ОБЛАДАЮЩЕЙ ДИПОЛЬНЫМИ МОМЕНТАМИ

После открытия пульсаров резко возрос интерес к проблеме излучения движущимися объектами (точечными и протяженными), характеризуемыми, в частности, магнитным дипольным моментом [1—2].

В настоящей заметке обобщаются результаты [3—4]. Рассмотрим излучение в прозрачной изотропной среде с характеристиками  $\varepsilon = \varepsilon(\omega)$  и  $\mu = \mu(\omega)$  заряженной точечной частицей, обладающей магнитным и электрическим дипольными моментами и движущейся по винтовой линии, получим

$$x_e = R \cos \tilde{\omega} t; \quad y_e = R \sin \tilde{\omega} t; \quad z_e = v_{\parallel} t. \quad (1)$$

Здесь  $v_{\parallel}$  — постоянная составляющая скорости частицы вдоль оси  $z$ , а  $\tilde{\omega}$  — постоянная угловая скорость вращения частицы вокруг этой оси.

Выражение для потерь можно записать в виде [5—7]:

$$P = \frac{i}{4\pi^3} \int \omega^{-1} T_{\nu\alpha}^{-1} G_{\nu\alpha} e^{ik(\vec{r}_e - \vec{r}_e') - i\omega(t-t')} dt' d^3k d\omega, \quad (2)$$

$$G_{\nu\alpha} = \{e v_{\nu} - ic [\vec{k} \vec{\mu}]_{\nu} + i\pi_{\nu} (\vec{k} \vec{v}) + \dot{\pi}_{\nu}\} \{e v'_{\alpha} + ic [\vec{k} \vec{\mu}']_{\alpha} - i\pi'_{\alpha} (\vec{k} \vec{v}') + \dot{\pi}'_{\alpha}\}. \quad (3)$$