

10606

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



A-471

1/8-77

P13 - 10606

2909/2-77

Г.Д.Алексеев, Н.А.Калинина, В.В.Круглов,
Д.М.Хазинс

О ТОЧНОСТИ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ
И НАТЯЖЕНИИ ПРОВОЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ
В ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕРАХ

1977

P13 - 10606

Г.Д.Алексеев, Н.А.Калинина,* В.В.Круглов,*
Д.М.Хазинс

О ТОЧНОСТИ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ
И НАТЯЖЕНИИ ПРОВОЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ
В ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕРАХ

Направлено в ПТЭ

*НИИЯФ МГУ

Алексеев Г.Д. и др.

P13 - 10606

О точности пространственного расположения и натяжении проволочных электродов в пропорциональных камерах

Получены формулы для определения допустимых неточностей при изготовлении пропорциональных камер и необходимого натяжения проволок, пригодные для расчета пропорциональных камер с произвольным шагом сигнальных проволок.

Приведены результаты экспериментальной проверки расчетов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Alekseev G.D. et al.

P13 - 10606

On the Accuracy of the Space Location and Tension of Wire Electrodes in Proportional Chambers

Formulae have been obtained for calculation of allowed inaccuracies when designing the proportional chambers and for necessary tension of wires. The formulae may be used also for proportional chambers with the arbitrary spacing of signal wires.

The calculations have been checked experimentally. The results are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Вопрос о необходимой точности пространственного расположения и о величине натяжения проволочных электродов имеет важное значение при создании больших пропорциональных камер. От этого существенно зависит конструкция камеры и допуски на точность ее изготовления. Эта проблема уже рассматривалась в литературе ^{1,2/}. Цель данной работы заключается в более полном учете влияния возможных неточностей расположения электродов на работоспособность пропорциональной камеры и получении формул, пригодных для расчета камер с произвольным шагом сигнальных проволок.

1. Электростатическое поле в пропорциональной камере

Картину поля в камере (рис.1) можно найти методом изображений с использованием теории комплексного потенциала ^{3/}. Вывод формул был сделан в следующих предположениях: сигнальные проволоки - бесконечно тонкие, высоковольтные электроды - сплошные. При этом сигнальная и высоковольтные плоскости заменялись системой зарядов, полученных последовательным зеркальным изображением проволок сигнальной плоскости относительно высоковольтных плоскостей, и поле в камере определялось суммой полей от полученной системы зарядов.

Возможны два способа суммирования полей. Если вначале просуммировать по номеру проволоки, а затем по номеру изображений, то потенциал в камере в точке (x, y) примет вид

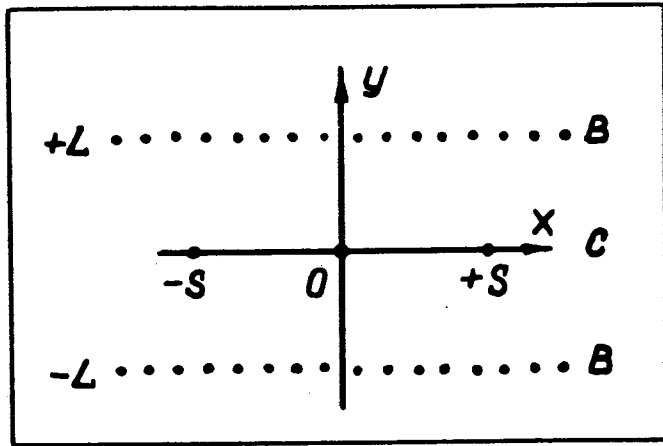


Рис.1. Схема расположения электродов. В - плоскость высоковольтных электродов; С - плоскость сигнальных электродов; L - зазор; s - шаг сигнальных электродов.

$$U(x,y) = q \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (-1)^k \ln \frac{\text{sh}^2 \frac{\pi L}{s} (2k+1) + \sin^2 \frac{\pi x}{s}}{\text{sh}^2 \frac{\pi L}{s} (2k + \frac{y}{L}) + \sin^2 \frac{\pi x}{s}}, \quad (1)$$

где q - линейная плотность заряда на сигнальных проволоках, L - зазор в камере, а s - шаг сигнальных проволок. Чтобы потенциал обращался в нуль на обоих высоковольтных электродах, необходимо в формуле (1) при суммировании брать одинаковое число членов с положительными и отрицательными k. При этом условии ряд (1) является сходящимся.

Потенциал в форме (1) особенно удобен при изучении поля вблизи плоскости сигнальных электродов (при малых y), так как в этом случае уже член с k = 0

дает хорошее приближение для практических приложений:

$$U(x,y) \approx q \ln \frac{\text{sh}^2 \frac{\pi L}{s} + \sin^2 \frac{\pi x}{s}}{\text{sh}^2 \frac{\pi y}{s} + \sin^2 \frac{\pi x}{s}}.$$

Емкость на единицу длины сигнальной проволоки радиуса R есть

$$C_0 = \frac{1}{2 \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (-1)^k \ln \frac{\text{sh} \frac{\pi L}{s} (2k+1)}{\text{sh} \frac{\pi L}{s} (2k + \frac{R}{L})}} \approx \frac{1}{2 \ln \frac{\text{sh} \frac{\pi L}{s}}{\text{sh} \frac{\pi R}{s}}} \quad (2)$$

Приведенные выражения для емкости совпадают с формулами в работах /2,4/*.

Если же требуется изучать изменение поля в камере, связанное с возможными смещениями отдельных сигнальных проволок, то удобнее выбрать другой порядок суммирования полей. Вначале следует взять суммы полей от изображений каждой сигнальной проволоки, а затем просуммировать по всем проволокам. В этом случае потенциал в точке (x,y) для камеры с несмещенными электродами имеет вид

$$U(x,y) = q \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \ln \frac{\text{ch}^2 \frac{\pi}{4L} (x + ks) - \sin^2 \frac{\pi y}{4L}}{\text{sh}^2 \frac{\pi}{4L} (x + ks) + \sin^2 \frac{\pi y}{4L}}, \quad (3)$$

*В работе /2/ в формуле для емкости пропущен множитель $(-1)^k$ и не указан способ суммирования ряда.

а линейная плотность заряда на сигнальной проволоке есть

$$q = C_0 U = \frac{U}{2 \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \ln \left| \operatorname{cth} \frac{\pi}{4L} (R + ks) \right|}, \quad (4)$$

где U - напряжение на камере.

Для камер со смещенными сигнальными проволоками формулы для $U(x, y)$, C_0 и q могут быть получены аналогично.

2. Расчет допустимых неточностей пространственного расположения проволочных электродов

Возможные неточности в расположении электродов приводят к неравномерному распределению линейной плотности заряда на сигнальных проволоках, что сказывается на коэффициенте газового усиления.

Требования к однородности зазора (L), шага (s) и радиуса сигнальной проволоки (R) могут быть определены дифференцированием формулы (4).

$$\begin{aligned} \frac{dq}{q} \approx 2C_0 \frac{dR}{R} + 4C_0 \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{\frac{\pi s}{2L} k}{\operatorname{sh} \frac{\pi s}{2L} k} \cdot \frac{ds}{s} - \\ - 2C_0 \left(1 + 2 \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{\frac{\pi s}{2L} k}{\operatorname{sh} \frac{\pi s}{2L} k} \right) \frac{dL}{L}. \end{aligned} \quad (5)$$

Пусть теперь плоскость сигнальных электродов смещена от центра зазора на расстояние Δy . Линейная плотность зарядов на сигнальных проволоках изменится при этом по сравнению с формулой (4). Относительное изменение имеет вид:

$$\left(\frac{\Delta q}{q} \right)_{\Delta y} = C_0 \left(\frac{\pi}{2} \right)^2 \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\operatorname{ch}^2 \frac{\pi}{4L} (R+ks)} \left(\frac{\Delta y}{L} \right)^2. \quad (6)$$

Если смещена только одна сигнальная проволока, то для относительного изменения линейной плотности заряда на смещенной сигнальной проволоке можно получить следующие выражения:

$$\left(\frac{\Delta q}{q} \right)_{y_{\text{пр}}} = \frac{\pi^2}{4 \ln \operatorname{cth} \frac{\pi R}{4L}} \left(\frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi s}{2L} k}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi s}{2L} k} \right) \left(\frac{y_{\text{пр}}}{L} \right)^2, \quad (7)$$

$$\left(\frac{\Delta q}{q} \right)_{x_{\text{пр}}} = \frac{\pi^2}{4 \ln \operatorname{cth} \frac{\pi R}{4L}} \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi s}{2L} k}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi s}{2L} k} \left(\frac{x_{\text{пр}}}{L} \right)^2, \quad (8)$$

где $x_{\text{пр}}$ и $y_{\text{пр}}$ - сдвиги сигнальной проволоки.

В таблице приведены допуски, рассчитанные по формулам (5-8) для двух камер с разным шагом намотки сигнальных проволок ($s=2$ мм и $s=10$ мм). Расчеты проведены в предположении, что допустимая неоднородность плотности заряда составляет 1%, что соответствует смещению в пределах 1% по напряжению всех характеристик камеры. Из приведенных в таблице цифр видно, что с точки зрения равномерности газового усиления на сигнальных проволоках требования к точности пространственного расположения электродов более слабые для камер с большим шагом.

3. Расчет натяжения проволочных электродов

Вопросы, связанные с натяжением проволок в пропорциональной камере, были в основном решены в работе /2/. Результаты, изложенные ниже, можно рассматривать в качестве уточнений. В частности, в /2/ был сделан вывод, что достаточно натянуть сигнальные проволоки с силой $T_0 = a \frac{\ell^2}{\pi^2}$ (ℓ - длина сигнальной проволоки, a - фактор, зависящий от напряженности поля в месте расположения сигнальной проволоки), чтобы они

не смещались при напряжении на камере, меньшем некоторого U_0 . Этот вывод был сделан без учета возможных погрешностей в расположении сигнальных электродов. Включение погрешностей в качестве граничных условий соответствующего дифференциального уравнения ^{/2/} приводит к тому, что сигнальные проволоки уже не будут оставаться на месте при $U < U_0$ и их максимальное смещение будет определяться формулой

$$y_{\text{макс.}} = \frac{\Delta y}{\cos(\sqrt{\frac{a}{T}} \frac{\ell}{2})},$$

где Δy - погрешность в изготовлении, T - натяжение проволоки. Если принять, что $y_{\text{макс.}} = 2\Delta y$, то

$$T = \frac{9}{4} a \frac{\ell^2}{\pi^2} = \frac{9}{4} T_0. \quad (9)$$

Из (9) видно, что учет погрешностей в изготовлении камеры существенно повышает требования к натяжению проволок независимо от величины погрешности. Зависимость величины смещения сигнальных проволок от напряжения на камере для этих двух случаев представлена на рис.2.

Натяжение сигнальных проволок рассчитывалось для двух вариантов: 1) смещена только одна сигнальная проволока; 2) смещена вся сигнальная плоскость. Расчеты показали, что наибольшая сила действует на смещенную сигнальную проволоку в первом случае. Необходимое натяжение сигнальных проволок равно

$$T = 2,55 \cdot 10^{-2} \frac{\ell^2}{L^2} U^2 C_0^2 \left(\frac{1}{4} + \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{\text{ch} \frac{\pi s}{2L} k}{\text{sh}^2 \frac{\pi s}{2L} k} \right), \quad (10)$$

где T - измеряется в Г; U - в кВ; ℓ , L и s - в см.

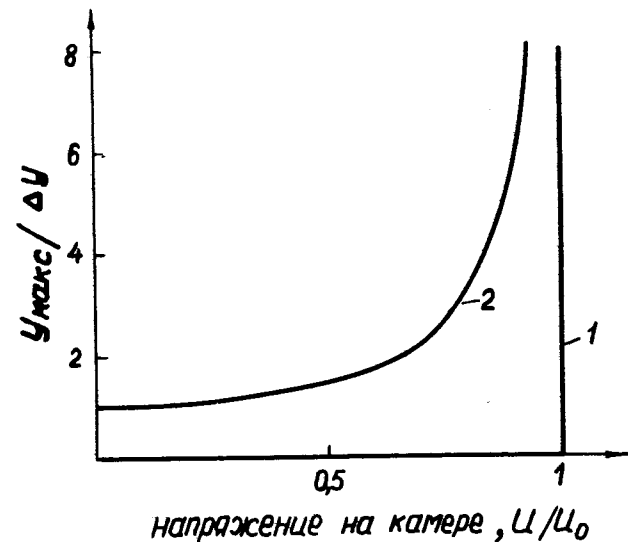


Рис.2. Зависимость величины максимального смещения сигнальных проволок от напряжения на камере (1 - без учета погрешностей в изготовлении камеры; 2 - с учетом погрешностей в ее изготовлении). Δy - ошибка в расположении сигнальной проволоки.

Формула для расчета натяжения высоковольтных проволок имеет вид

$$T_B = 0,71 \cdot 10^{-3} \frac{\pi \cdot \ell_B^2 \cdot s_B}{y_B \cdot L \cdot s} U^2 C_0^2 \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{1}{\text{ch} \frac{\pi s}{2L} k}, \quad (11)$$

где ℓ_B - длина высоковольтной проволоки, s_B - шаг намотки высоковольтной проволоки, y_B - допустимое смещение высоковольтных проволок, которое рассчитывается на основании требуемой однородности плотности заряда на сигнальных проволоках; T_B измеряется в Г; U - в кВ; ℓ_B , L , y_B , s , s_B - в см. Формула (11) получена аналогично тому, как это было сделано в работе ^{/2/}, но без пред-

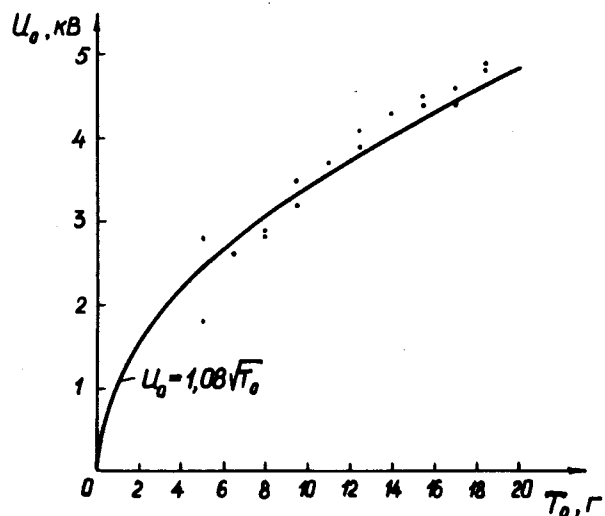


Рис.3. Зависимость напряжения U_0 , при котором сигнальная проволока притягивалась к одному из высоковольтных электродов, от натяжения T_0 сигнальной проволоки. Точки получены на эксперименте, сплошная кривая - расчет.

положения о малости шага s , $s_B \ll L$. Рассчитанные по формулам (10,11) натяжения сигнальных и высоковольтных проволок приведены в таблице.

Для проверки расчетов был изготовлен макет, который представлял собой модель камеры с $l = l_B = 105$ см, $s = 10$ мм, $s_B = 2$ мм, $R = R_B = 0,05$ мм. Натяжение одной из сигнальных проволок регулировалось. Изучалась зависимость напряжения U_0 , при котором сигнальная проволока притягивалась к одному из высоковольтных электродов, от натяжения сигнальной проволоки. Экспериментальные точки и теоретическая зависимость приведены на рис.3.

Таблица

		$s = 10$ мм, $s_B = 2$ мм, $L = 9$ мм, $R = 10$ мкм, $l = l_B = 100$ см, $U = 4$ кВ	$s = 2$ мм, $s_B = 2$ мм, $L = 9$ мм, $R = 10$ мкм, $l = l_B = 100$ см, $U = 4$ кВ
Допуски	$\Delta R/R$	~8%	~17,5%
	Δs	0,4 мм	0,03 мм
	$\Delta(2L)$	$\pm 0,25$ мм	$\pm 0,1$ мм
	Δy	$\pm 1,5$ мм	$\pm 1,0$ мм
	$x_{пр}$	$\pm 2,2$ мм	$\pm 0,4$ мм
	$y_{пр}$	$\pm 1,5$ мм	$\pm 0,4$ мм
Натяжение	T	14 Г	55 Г
	T_B	52 Г	290 Г

Литература

1. Erskine G.A. NIM, 1972, 105, p. 565.
2. Тельнов В.И. ПТЭ, 1974, № 5, с.46. Поправка опубликована в ПТЭ, 1975, № 5.
3. Морс Ф.М., Фешбах Г. Методы теоретической физики, ИЛ, Москва, 1960, т.2.
4. Charpak G., Rahm D., Steiner H. NIM, 1970, 80, p.13.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 апреля 1977 года