

С 345 е 1

П-815

16/II-70

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9 - 4851



В.П. Пронин, А.Н. Сафонов

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ  
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ СИНХРОЦИКЛОТРОНА  
ОИЯИ МЕТОДОМ НАВЕДЕННОГО ТОКА

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1969

P9 - 4851

В.П. Пронин, А.Н. Сафонов

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ  
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ СИНХРОЦИКЛОТРОНА  
ОИЯИ МЕТОДОМ НАВЕДЕННОГО ТОКА

8203/2 чр

ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИКИ  
И МАТЕМАТИКИ  
ИМЕНИ П.А. ФЕРМИ  
ИЮНЬ 1973

Пронин В.П., Сафонов А.Н.

P9-4851

Измерение электрического поля в центральной области синхроциклотрона ОИЯИ методом наведенного тока

На модели, выполненной в масштабе 1:5, определены компоненты ускоряющего поля дуанта и компоненты электростатического поля фокусирующих электродов. Измерения проводились методом наведенного тока на установке МНТ-ВЗ.

Компоненты поля измерены в 3-х параллельных плоскостях при наличии стержня, имитирующего плазменный столб дуги ионного источника.

**Сообщения Объединенного института ядерных исследований**

**Дубна, 1969**

Pronin V.P., Safonov A.N.

P9-4851

Measurement of the Electrical Field in the Central Region of the Dubna Synchrocyclotron by the Induced Current Method

The components of the electrical field in the central region of the Dubna synchrocyclotron have been found by the induced current method which is based on the measurement of charge and current induced on the plates when either a point charge (a charge probe) or a probe vibrating at a constant frequency are placed into the point under investigation.

A model in 1 : 5 scale has been used for measuring the components of the accelerating and electrostatic fields of the dee and the focusing plates in the presence of a bar imitating the plasma column. The measurement data are tabulated and can be used in calculating particle motion by computer.

**Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.**

**Dubna, 1969**

Для расчета движения ускоряемых частиц в центральной области синхротрона на ЭВМ необходимо знать зависимость электрического поля от координат.

Определение оптимальной геометрии центральной области с точки зрения создания наилучших условий для начального ускорения и наибольшей вертикальной фокусировки электрическим полем дуанта и фокусирующих электродов /1/ также связано с нахождением тем или иным способом распределения электрического поля. В большинстве случаев электрическое поле в этой области трудно поддается аналитическому расчету, особенно при наличии плазменного столба ионного источника /2/.

Приближенные формулы /3/ не всегда обеспечивают достаточную точность при расчетах движения частиц на ЭВМ, а при выборе оптимальной геометрии центральной области они могут оказаться вообще неприемлемыми. Известно, что расчет движения частиц может быть осуществлен при задании электрического поля в виде таблиц. Анализ вертикальных сил и начального движения при табличном задании также легко осуществим. Таблицы электрического поля можно получить, используя методы математического моделирования. Наиболее часто для измерения электрических полей (в том числе в ускорителях) применяется метод электролитической ванны /2,4/, поскольку он позволяет определять потенциал с высокой точностью, а наличие плоскости симметрии на границе электролит - воздух обеспечивает удобство измерений в модели. Однако эффективность этого метода снижается, если возникает необходимость определения компонент напряженности, особенно при моделировании трехмерных полей.

В этом отношении более приемлем применяемый в данной работе метод электростатической индукции (наведенного тока) <sup>/5/</sup>, разработанный на кафедре радиофизики Саратовского университета. Этот метод использует пропорциональность между зарядом, наведенным на электродах модели заряженным зондом, и значением потенциала в точке его нахождения. Поступательно движущийся (или вибрирующий относительно точки измерения) зонд наводит во внешних цепях электродов модели ток, пропорциональный компоненте напряженности поля по линии движения.

Таким образом, наведенный заряд является аналогом потенциала, а наведенный ток – аналогом соответствующей компоненты напряженности. Отсутствие искусственной моделирующей среды (электроды модели располагаются в воздухе) позволяет осуществлять быстрое перемещение зонда при определении компонент напряженности лапласовского поля.

Неизбежные погрешности метода, не превышающие 5%, определяются размерами зонда, амплитудой его колебаний, искажающим влиянием зондодержателя и зависят от точности применяемых приборов.

На модели, выполненной в масштабе 1:5 (рис. 1), проведено измерение компонент ускоряющего поля ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$ ) и электростатического, создаваемого напряжениями, приложенными к дуанту и фокусирующим электродам, при соотношении  $U_{см} = 0,1 U_{ф}$  ( $E_x^{\phi}$ ,  $E_y^{\phi}$ ,  $E_z^{\phi}$ ) со стержнем, имитирующим плазменный столб ионного источника. Измерения проводились на установке МНТ-ВЗ <sup>/6/</sup>. Схема опыта показана на рис. 3. Вибратор, питаемый от генератора ГЗ-33 напряжением с частотой около 400 гц (мощность 2+3 вт), приводил в колебательное движение керамический стержень ( $\varnothing = 1$  мм) с заряженным янтарным шариком на конце  $\varnothing 3$  мм. Колебания могли осуществляться во взаимно-перпендикулярных направлениях путем поворота вибратора на  $90^\circ$ . Вибратор укреплялся на координаторе, позволяющем перемещать его по осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$  с отсчетом координат по миллиметровым линейкам с нониусами. Макет устанавливался на плиту координатора (см. рис. 1), так что ось  $x$  была направлена вверх для измерения компонент  $E_y$  и  $E_z$  и располагалась в горизонтальной плоскости при измерении компоненты  $E_x$ . Калибровка прибора для измерения напряженности в этом случае производилась по компоненте  $E_z$ . В качестве прибора для измерения наведе-

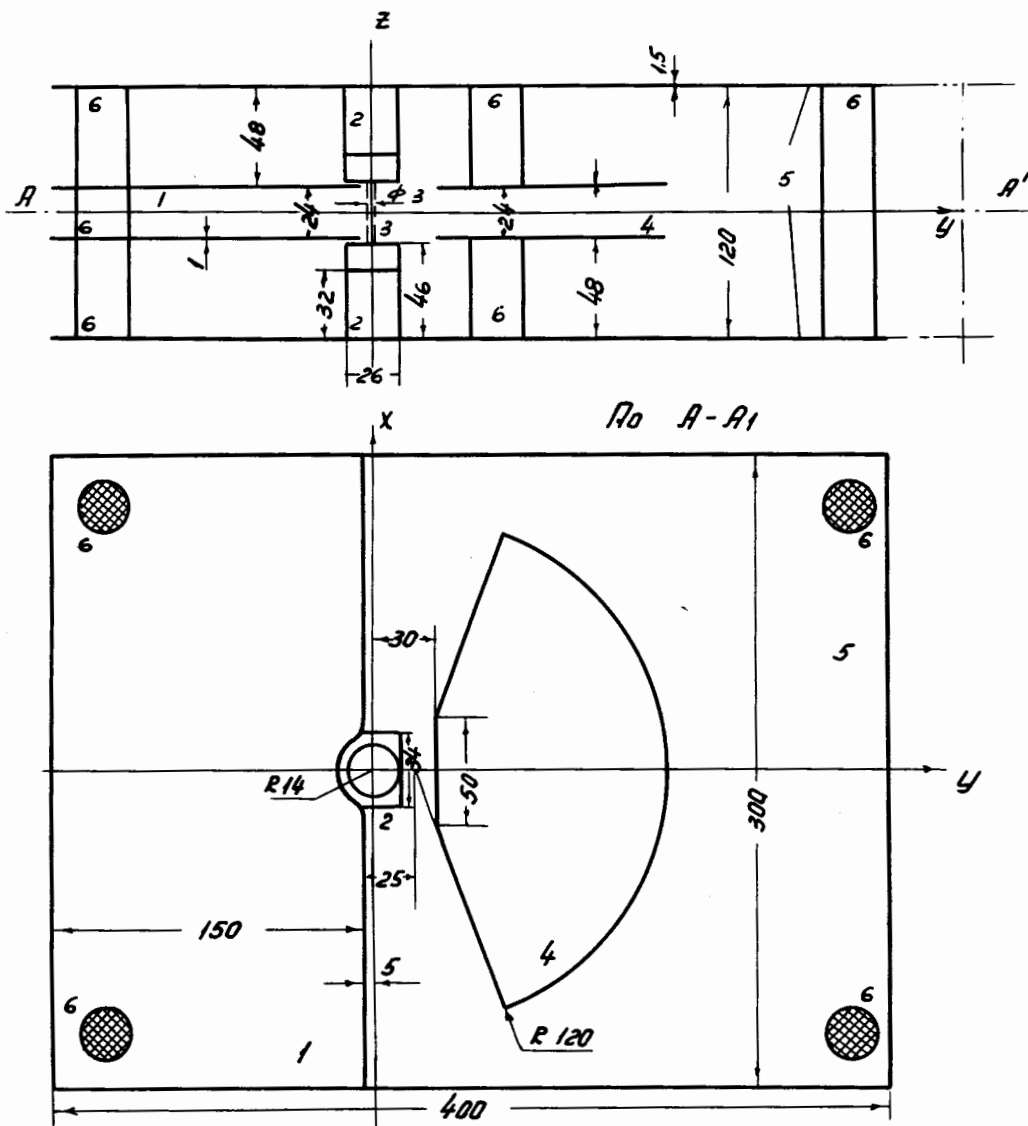


Рис.1. Чертеж макета центральной части ускорительной камеры синхротрона ОИЯИ в 1/5 натуре. 1 - дуант, 2 - ионный источник, 3 - плазменный столб дуги, 4 - фокусирующие электроды, 5 - крышки камеры, 6 - изоляторы.

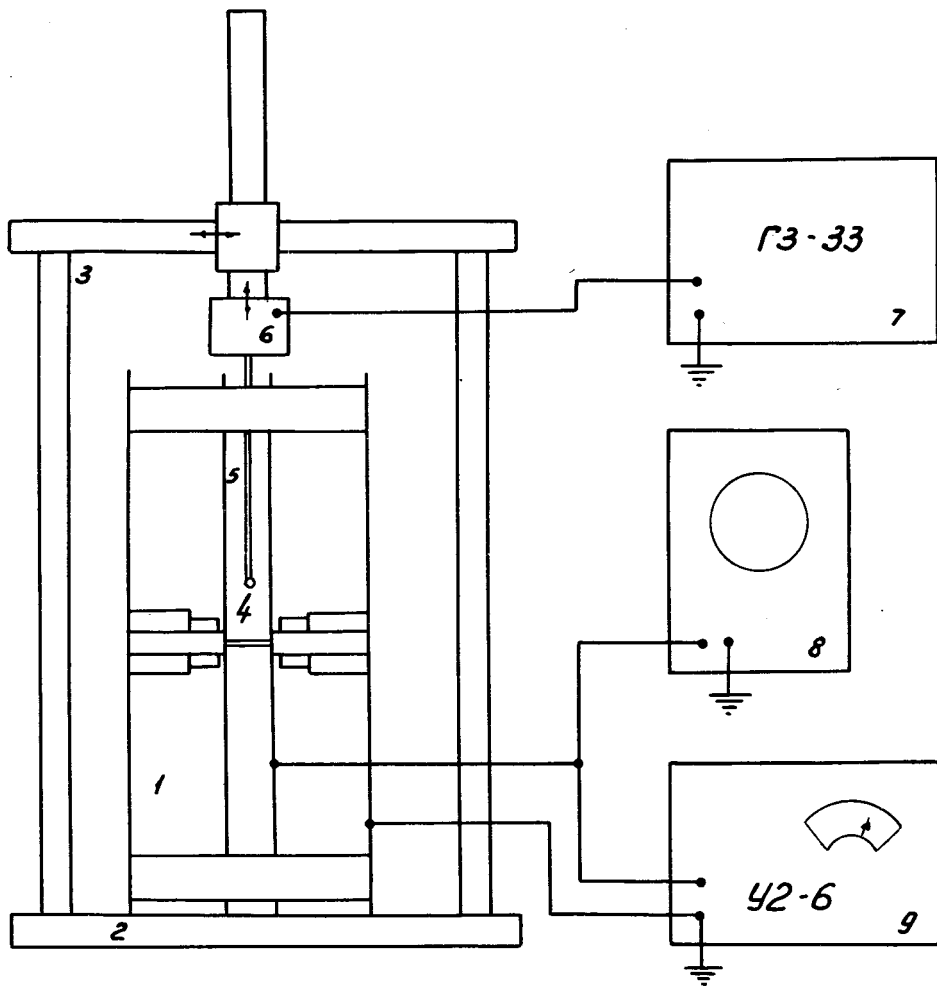


Рис.2. Схема установки МНТ-ВЗ для измерений компонент напряженности электрического поля дуанта. 1 - макет в 1/5 натуры, 2 - плата координатора, 3 - координатор, 4 - янтарный шарик  $\varnothing$  3 мм, 5 - керамический держатель, 6 - вибратор, питаемый от генератора 7, 8 - осциллограф, 9 - усилитель.

денного на электродах модели тока могут быть использованы селективные усилители У2-4, У2-6 и "Призма" (либо анализатор гармоник С5-3) с синхронным детектором СД-1, который необходим для определения знака компоненты напряженности поля.

Компоненты электрического поля измерены в 3-х параллельных плоскостях: медианной ( $z=0$ ),  $z = 2$  см (размеры даны для натуры) и  $z = 4$  см с шагом по  $x$  и  $y$  около источника 2,5 см.

Измерения напряженности проводились в относительных единицах. Привязка данных измерений к абсолютному значению напряженности электрического поля может быть проведена несколькими способами: измерения в модели с однородным полем, измерения в модели, распределение поля в которой может быть найдено теоретически, и т.д.

Для нормировки компонент напряженности, измеренных в относительных единицах, к абсолютному значению напряженности при  $U_d = 20$  кВ (ускоряющее поле) и  $U_{см} = -1,5$  кВ,  $U_{\phi} = -15$  кВ использовалось то соображение, что если проинтегрировать, например, кривую  $E_y(y)$  по  $y$  от  $-\infty$  до  $\infty$ , то интеграл должен быть равен потенциалу, приложенному к дуанту  $U_d$ :

$$E_y = -\frac{dU}{dy}, U_d = -\int_{U_d}^0 dU = \int_{-\infty}^{\infty} E_y dy. \quad (1)$$

Интегрирование не обязательно должно проводиться от  $-\infty$  до  $\infty$ , если известны значения потенциала в каких-либо точках  $y_1$  и  $y_2$  (например, из измерений на электролитической ванне).

Пусть  $\phi = \frac{U}{U_d}$  — относительный потенциал,  $E_y$  — напряженность в произвольных единицах, вычерченная на графике в зависимости от  $y$ , а  $\phi_1$  и  $\phi_2$  — значения относительного потенциала в точках  $y_1$  и  $y_2$ . Тогда справедливо соотношение:

$$E_{y \max} \left[ \frac{В}{см} \right] = \frac{(\phi_1 - \phi_2) \cdot U_d [В] M_y \cdot E_{y \max} [см]}{S [см^2]}, \quad (2)$$

где  $M_y = \frac{y_{\text{черт.}}}{y_{\text{нат.}}}$  — масштаб по оси  $y$ ,  $S [см^2]$  — площадь, ограни-



ченная кривой  $E_y(y)$  от  $y_1$  до  $y_2$ ,  $E_{y_{\max}}$  [см] - максимальное значение измеренной напряженности на графике в см,  $U_D$  [в] - потенциал, приложенный к дуанту или фокусирующим электродам.

В работе И.Б. Енчевича и др. [7] теоретически рассчитано электрическое поле для тех же значений апертуры дуанта и расстояния между крышками камеры без ионного источника и фокусирующих электродов. Для сравнения с расчетной кривой  $E_y(y)$  в медианной плоскости измерена зависимость  $E_y(y)$  после удаления из макета фокусирующих электродов и ионного источника при значениях  $x$ , где влияние выреза в дуанте пренебрежимо мало. На рис. 3 приведены обе кривые в единицах максимального значения измеренного поля. Отличие их в пределах  $7 \pm 15\%$  объясняется, по-видимому, тем, что расчет выполнен для ускорительной камеры размером  $0,6 \times 7 \times 7$  м<sup>3</sup>, а измерения проведены на макете, моделирующем не всю ускорительную камеру, а только ее центральную часть размером  $0,6 \times 1,5 \times 2$  м<sup>3</sup>, а также сравнительно большой для такого масштаба моделирования величиной зонда ( $\varnothing$  3 мм), колеблющегося с амплитудой  $\approx 1$  мм.

Кривые на рис. 3 могут быть также использованы для нахождения абсолютного значения компонент напряженности.

Значения компонент напряженности высокочастотного поля дуанта в кв/см для напряжения на дуанте  $U_D = 20$  кв при наличии плазменного столба ионного источника приведены в таблице 1. На рис. 4 показаны графики  $E_y(y)$  при  $z = 0$ .

В таблице 2 приведены для этого случая компоненты  $E_x^\phi$ ,  $E_y^\phi$ ,  $E_z^\phi$  электростатического поля, образованного постоянным отрицательным смещением на дуанте  $U_{\text{см}} = -1,5$  кв и отрицательным напряжением на фокусирующих электродах  $U_\phi = -15$  кв. Графики  $E_y^\phi(y)$  при  $z = 0$  показаны на рис. 5.

Работа выполнена на кафедре радиофизики Саратовского государственного университета в феврале 1967 года.

В заключение авторы благодарят заведующего кафедрой проф. Г.М. Герштейна, начальника отдела синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ В.И. Данилова, предоставивших возможность выполнить настоящую работу, руководителя физико-вакуумной группы отдела синхроциклотрона Е.И. Розанова и руко-

водителя радиотехнической группы И.Б. Енчевича за критические замечания.

### Л и т е р а т у р а

1. В.И. Данилов, И.Б. Енчевич, Б.Н. Марченко, Э.А. Полферов, А.Н. Сафонон, А.В. Шестов. Препринт ОИЯИ Р-1853, Дубна 1964.
2. А.Н. Сафонон, А.В. Шестов. Депонированное сообщение ОИЯИ Б1-1543, Дубна 1963.
3. В.И. Данилов, И.Б. Енчевич, Д.Л. Новиков, Э.А. Полферов, А.Н. Сафонон, Б.В. Феоктистов. Препринт ОИЯИ Р-1448, Дубна 1963.
4. И.М. Тетельбаум. Электрическое моделирование. ГИФМЛ, 1959.
5. Вопросы электрического моделирования полей. Сб. статей под ред. Г.М. Герштейна, вып. 1, 1964 г., вып. 2, 1967г., изд-во Саратовского Гос. университета .
6. Г.М. Герштейн, В.П. Пронин, В.А. Седин, Г.К. Федонин. В кн. "Вопросы теории и применения математического моделирования". Из-во Сов. Радио, М., 1965, стр. 339-351.
7. И.Б. Енчевич, Г.Й. Пенчев, А.Н. Сафонон. Препринт ОИЯИ 1854, Дубна 1964; Известия на физич. институт с АНЕБ, том. XIII , кн. 1., 1965, стр. 111-130.

Рукопись поступила в издательский отдел

17 декабря 1969 года.

$$\varepsilon_y = \frac{E_y}{E_{y \max}}$$

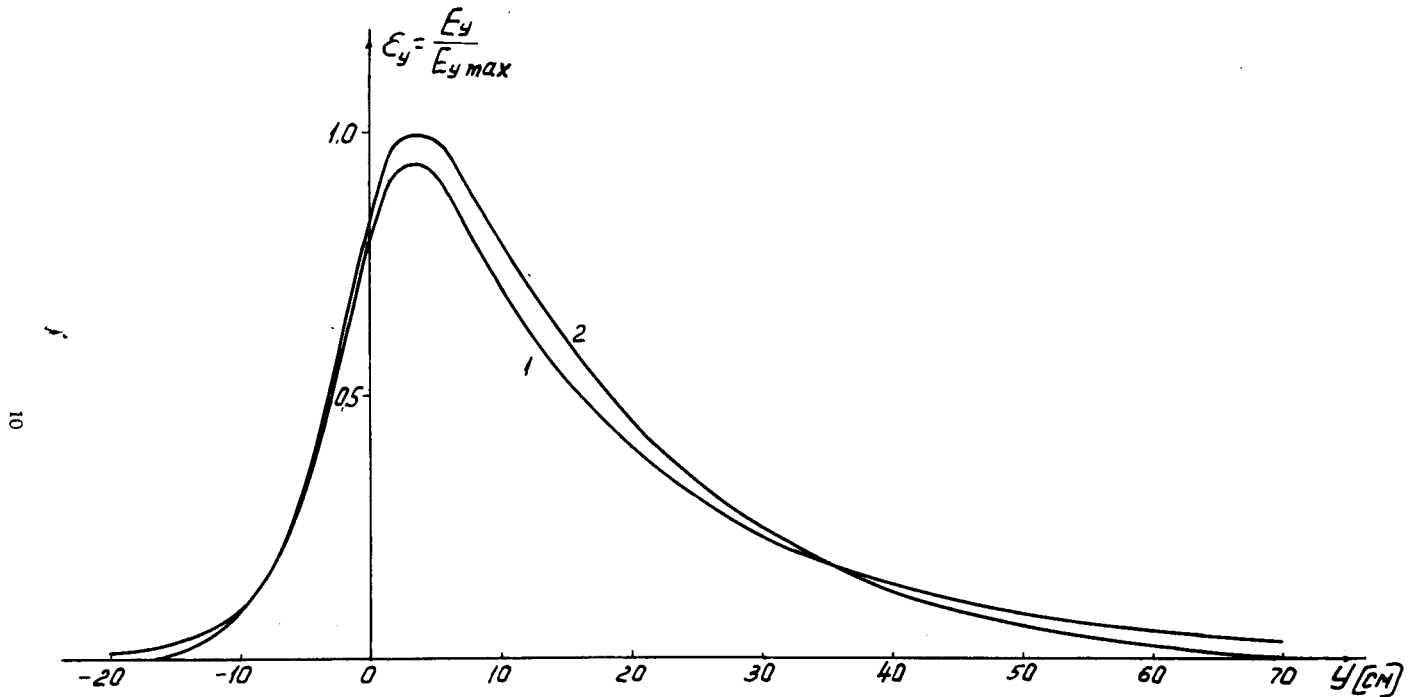


Рис.3. Зависимость  $E_y$  от  $y$  : 1 - расчетная кривая; 2 - кривая, измеренная на макете без ионного источника и фокусирующих электродов при  $x$ , где влияние выреза пренебрежимо мало.  $E_{y \max}$  - максимальное значение измеренного поля.

$y$  [см]  
 $y$  [см]

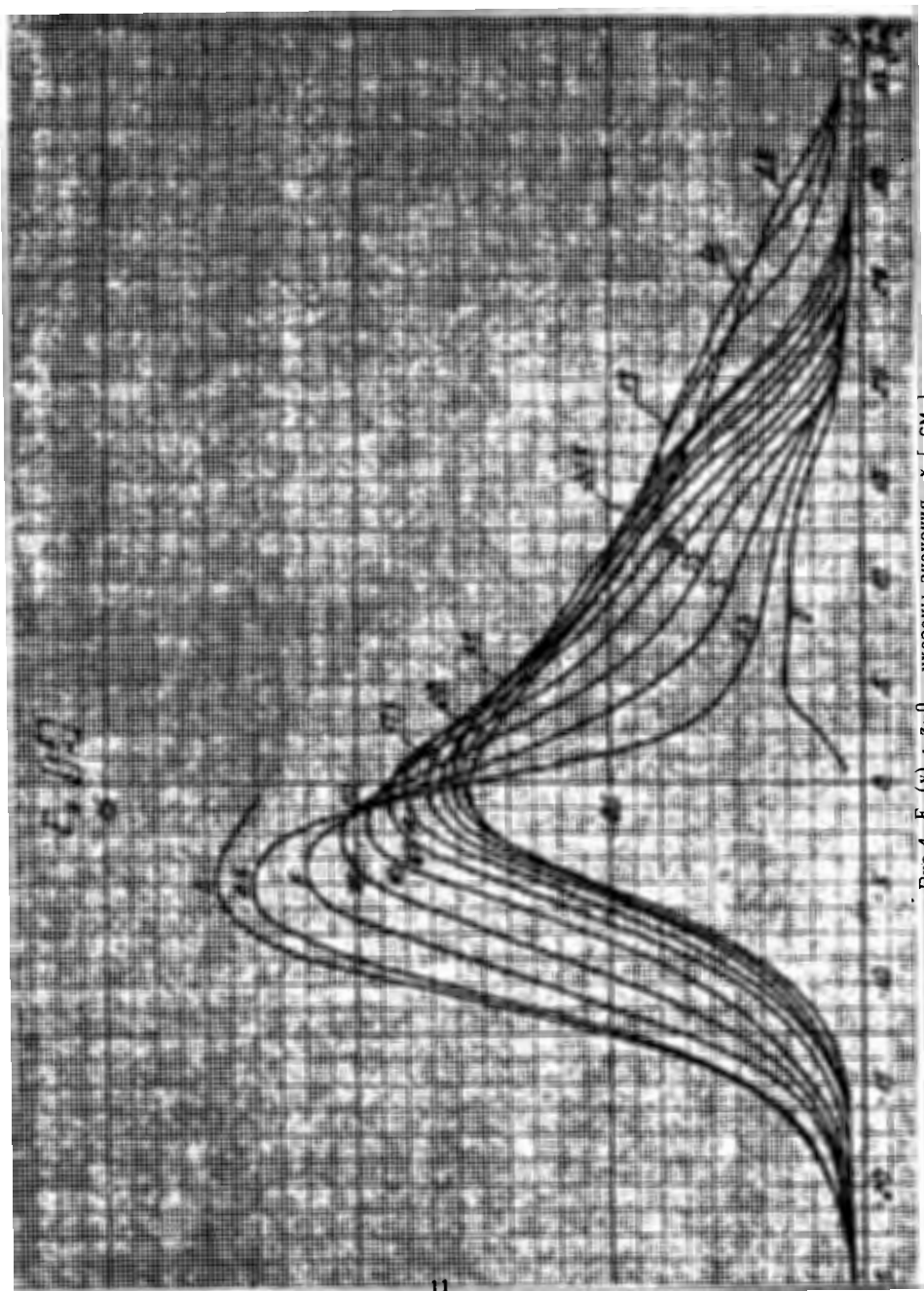


Рис.4.  $E_i(y)$ ;  $z=0$  указаны значения  $x$  [см].

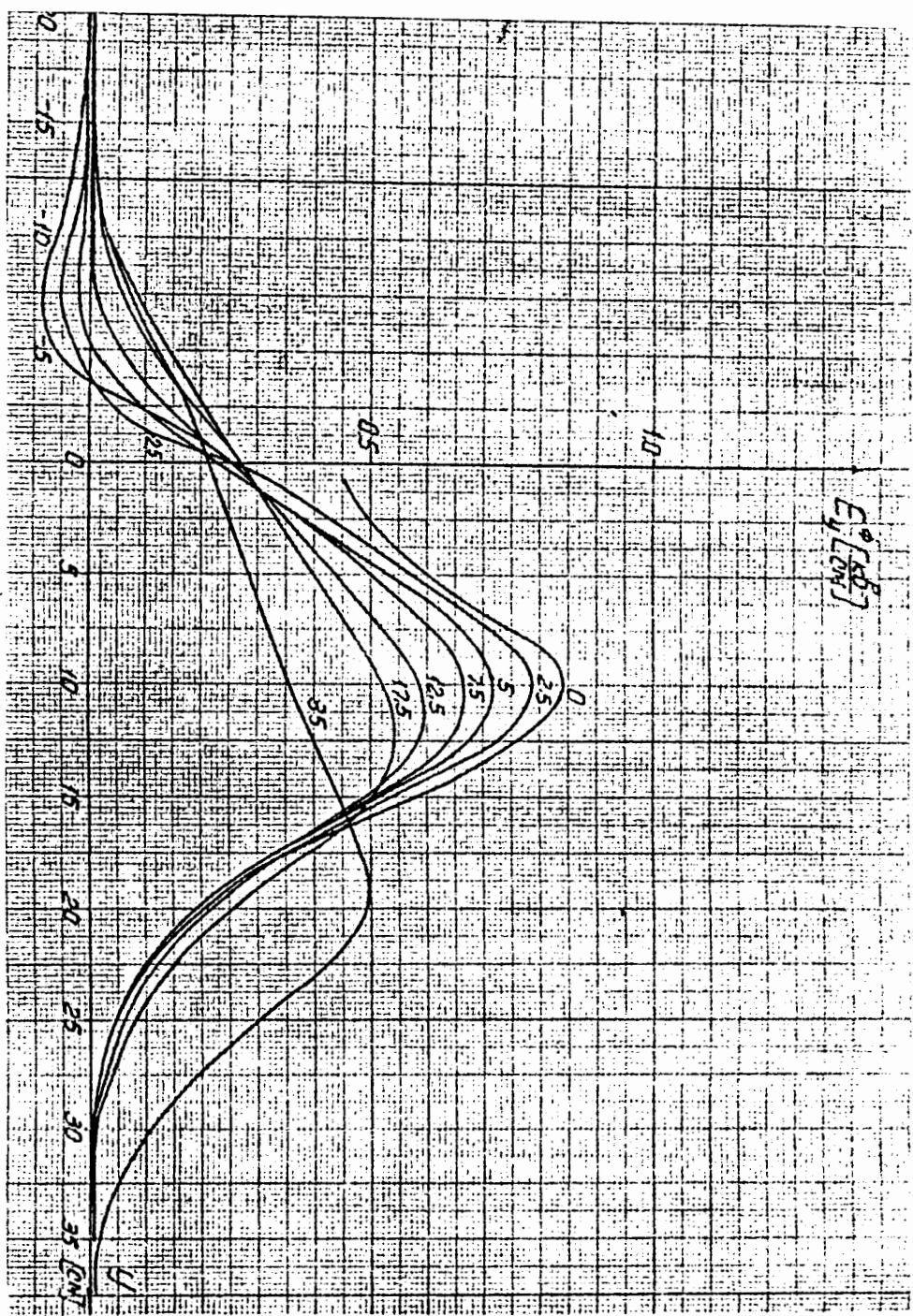


Рис. 5.  $E_y^0(x, y)$ ;  $z = 0$  указаны значения  $x$  [см].

Таблица I

Компоненты высокочастотного поля дуанта при наличии плазмы  
дугового разряда ионного источника,  $U_D = 20$  кВ

1)  $E_x(x, y) \left[ \frac{КВ}{СМ} \right]; z=0$

$y$ (см)	2,5	5	7,5	12,5	17,5	20
-15	-0,051	-0,115	-0,130	-0,051	-0,088	-0,019
-12,5	-0,141	-0,211	-0,238	-0,102	-0,051	-0,026
-10	-0,214	-0,306	-0,346	-0,167	-0,086	-0,019
-7,5	-0,295	-0,423	-0,461	-0,218	-0,097	-0,026
-5	-0,397	-0,493	-0,525	-0,307	-0,141	-0,026
-2,5	-0,442	-0,448	-0,487	-0,320	-0,141	-0,019
0	-0,333	-0,346	-0,397	-0,206	-0,141	-0,017
2,5	-0,167	-0,243	-0,275	-0,230	-0,141	-0,026
5	-0,071	-0,170	-0,192	-0,179	-0,141	-0,019
7,5	-0,026	-0,077	-0,135	-0,141	-0,115	-0,019
10	-0,026	-0,051	-0,064	-0,064	-0,077	-0,026
12	-0,026	-0,038	-0,045	-0,051	-0,071	-0,038
15	-0,013	-0,013	-0,019	-0,013	-0,026	-0,019

2)  $E_x(x, y) \left[ \frac{КВ}{СМ} \right]; z = 2$  см

$y$ (см)	2,5	5	7,5	12,5	17,5	20
-15	-0,064	-0,128	-0,128	-0,128	-0,019	-0,013
-12,5	-0,141	-0,243	-0,243	-0,132	-0,026	-0,019
-10	-0,205	-0,346	-0,346	-0,147	-0,045	-0,013
-7,5	-0,282	-0,448	-0,500	-0,224	-0,038	-0,013
-5	-0,358	-0,520	-0,590	-0,307	-0,109	-0,013
-2,5	-0,397	-0,435	-0,525	-0,333	-0,150	-0,013
0	-0,307	-0,346	-0,423	-0,320	-0,167	-0,019
2,5	-0,141	-0,218	-0,295	-0,243	-0,141	-0,022
5	-0,064	-0,141	-0,192	-0,179	-0,132	-0,026
7,5	-0,038	-0,064	-0,102	-0,137	-0,102	-0,038
10	-0,026	-0,038	-0,051	-0,030	-0,038	-0,038
12,5	-0,026	-0,026	-0,026	-0,038	-0,064	-0,051
15	-0,019	-0,019	-0,026	-0,019	-0,032	-0,051

3)  $E_x(x, y) \left[ \frac{КВ}{СМ} \right]; z=4$  см

$y$ (см)	2,5	5	7,5	12,5	17,5	20
-15	-0,077	-0,139	-0,128	-0,019	-0,013	-0,013
-12,5	-0,141	-0,295	-0,269	-0,045	-0,013	-0,013
-10	-0,230	-0,300	-0,474	-0,128	-0,026	-0,013
-7,5	-0,295	-0,453	-0,717	-0,218	-0,038	-0,013
-5	-0,269	-0,602	-0,865	-0,307	-0,102	-0,013
-2,5	-0,250	-0,371	-0,692	-0,390	-0,141	-0,013
0	-0,192	-0,269	-0,519	-0,320	-0,134	-0,013
2,5	-0,077	-0,205	-0,333	-0,256	-0,134	-0,013
5	-0,064	-0,141	-0,192	-0,179	-0,141	-0,013
7,5	-0,023	-0,064	-0,115	-0,122	-0,122	-0,026
10	-0,019	-0,026	-0,038	-0,064	-0,077	-0,026
12,5	-0,013	-0,013	-0,013	-0,019	-0,045	-0,026
15	-0,013	-0,013	-0,013	-0,013	-0,013	-0,026

4)  $E_y(x, y) \left[ \frac{КВ}{СМ} \right]; z = 0$

$y$ (см)	0	2,5	5	7,5	12,5	17,5	20	20
-20	0,085	0,080	0,051	0,051	0,038	0,030	0,089	0,089
-17,5	0,128	0,115	0,077	0,086	0,088	0,034	0,034	0,094
-15	0,243	0,220	0,167	0,128	0,094	0,051	0,088	0,088
-12,5	0,312	0,448	0,352	0,256	0,141	0,102	0,064	0,088
-10	0,894	0,813	0,627	0,474	0,250	0,192	0,134	0,167
-7,5	1,200	1,114	0,910	0,730	0,461	0,346	0,300	0,350
-5	1,280	1,215	1,100	0,960	0,705	0,590	0,525	0,545
-2,5	1,240	1,120	1,070	1,037	0,910	0,808	0,730	0,730
0	0,782	0,845	0,910	0,925	0,860	0,795	0,781	
2,5	0,080	0,371	0,590	0,705	0,820	0,814	0,756	0,730
5	0,152	0,256	0,410	0,525	0,666	0,705	0,680	0,634
7,5	0,146	0,205	0,307	0,397	0,500	0,603	0,590	0,577
10	0,140	0,192	0,256	0,333	0,461	0,526	0,525	0,500
12,5	0,139	0,166	0,218	0,282	0,385	0,449	0,474	0,435
15	0,119	0,140	0,167	0,211	0,295	0,372	0,423	0,372
17,5	0,075	0,080	0,115	0,128	0,192	0,269	0,385	0,327
20	0,050	0,051	0,051	0,064	0,080	0,167	0,320	0,295
22,5	0,040	0,038	0,038	0,038	0,038	0,077	0,236	0,236
25	0,021						0,167	0,224
27,5	0,028							0,192
30	0,023							0,141
35	0,013							0,088

Для отрицательных значений  $x$  компонента  $E_x$  положительна, для  $x=0$   $E_x=0$ .

Таблица I (продолжение)

5)  $E_y(x, y) \left[ \frac{KB}{CM} \right]; z = 2 \text{ CM}$

$y \text{ (cm)}$	0	2,5	5	7,5	12,5	17,5	25	35
-20	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
-17,5	0,071	0,071	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088
-15	0,142	0,142	0,088	0,071	0,088	0,086	0,088	0,088
-12,5	0,463	0,410	0,388	0,178	0,071	0,088	0,088	0,088
-10	0,890	0,820	0,770	0,382	0,142	0,071	0,071	0,088
-7,5	1,320	1,280	0,962	0,678	0,382	0,282	0,248	0,248
-5	1,386	1,320	1,175	0,963	0,680	0,535	0,499	0,488
-2,5	1,244	1,110	1,067	1,067	0,910	0,788	0,713	0,713
0	0,605	0,746	0,820	0,910	0,820	0,788	0,788	0,788
2,5	0,086	0,178	0,463	0,606	0,746	0,788	0,788	0,713
5	0,086	0,107	0,285	0,382	0,570	0,641	0,641	0,605
7,5	0,071	0,088	0,178	0,320	0,463	0,535	0,532	0,535
10	0,071	0,071	0,142	0,248	0,382	0,463	0,499	0,463
12,5	0,071	0,071	0,107	0,178	0,338	0,382	0,445	0,382
15	0,086	0,086	0,071	0,107	0,214	0,320	0,382	0,386
17,5	0,086	0,086	0,086	0,086	0,071	0,142	0,256	0,288
20	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,071	0,320	0,248
25		0,086	0,086		0,086	0,086	0,107	0,142
30					0,086	0,086	0,107	0,142
35							0,086	0,071
38								0,086

6)  $E_y(x, y) \left[ \frac{KB}{CM} \right]; z = 4 \text{ CM}$

$y \text{ (cm)}$	0	2,5	5	7,5	12,5	17,5	25	35
-20		0,086						
-17,5	0,107	0,071	0,071	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
-12,5	0,285	0,178	0,107	0,071	0,086	0,086	0,086	0,086
-10	0,562	0,746	0,628	0,214	0,071	0,086	0,086	0,086
-7,5	1,086	1,600	1,110	0,588	0,214	0,170	0,170	0,170
-5	1,637	1,780	1,638	1,138	0,606	0,499	0,499	0,499
-2,5	0,937	0,888	1,280	1,460	1,246	1,081	0,890	0,890
0	0,463	0,677	0,962	1,110	0,997	0,890	0,890	0,890
2,5	0,071	0,142	0,256	0,338	0,571	0,788	0,788	0,714
5	0,071	0,142	0,256	0,338	0,606	0,690	0,690	0,606
7,5	0,071	0,071	0,125	0,275	0,463	0,535	0,570	0,535
10	0,071	0,071	0,125	0,248	0,410	0,463	0,499	0,464
12,5	0,107	0,107	0,214	0,382	0,428	0,464	0,464	0,382
15	0,071	0,071	0,107	0,248	0,382	0,382	0,382	0,386
17,5				0,071	0,142	0,256	0,288	0,288
20					0,086	0,071	0,256	0,214
25		0,086	0,086		0,086	0,086	0,071	0,178
30							0,086	0,071
35								0,086

7)  $E_z(x, y) \left[ \frac{KB}{CM} \right]; z = 2 \text{ CM}$

$y \text{ (cm)}$	0	2,5	5	7,5	12,5	17,5	25
-20	-0,083	-0,083	-0,083	-0,083			
-17,5	-0,083	-0,083	-0,083	-0,083			
-15	-0,086	-0,086	-0,086	-0,086	-0,083		
-12,5	-0,071	-0,084	-0,081	-0,085	-0,083	-0,083	-0,083
-10	-0,084	-0,077	-0,113	-0,104	-0,085	-0,084	-0,083
-7,5	0,088	0,080	-0,081	-0,128	-0,102	-0,081	-0,082
-5	0,218	0,178	0,081	-0,081	-0,122	-0,077	-0,084
-2,5	0,179	0,179	0,134	0,084	-0,082	-0,083	-0,083
0	0,241	0,134	0,102	0,086	0,083	0,088	0,088
2,5	0,077	0,113	0,113	0,077	0,088	0,086	0,084
5	0,081	0,084	0,084	0,081	0,088	0,086	0,084
7,5	0,085	0,088	0,085	0,088	0,088	0,086	0,083
10	0,080	0,086	0,082	0,082	0,088	0,086	0,082
12,5	0,086	0,085	0,087	0,082	0,088	0,086	0,082
15	0,085	0,083	0,086	0,082	0,085	0,087	0,082
20	0,083	0,083	0,081	0,083	0,086	0,088	0,088
25	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,088
30	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083

8)  $E_z(x, y) \left[ \frac{KB}{CM} \right]; z = 4 \text{ CM}$

$y \text{ (cm)}$	0	2,5	5	7,5	12,5	17,5	25	35
-20	-0,083	-0,083	-0,083	-0,083				
-17,5	-0,086	-0,086	-0,086	-0,083	-0,083			
-15	-0,084	-0,084	-0,081	-0,080	-0,083	-0,083	-0,083	-0,083
-12,5	-0,205	-0,198	-0,141	-0,102	-0,088	-0,083	-0,083	-0,083
-10	-0,300	-0,320	-0,295	-0,208	-0,115	-0,081	-0,086	-0,088
-7,5	0,192	0,080	-0,256	-0,378	-0,205	-0,128	-0,102	-0,120
-5	0,615	0,538	0,205	-0,320	-0,396	-0,216	-0,167	-0,183
-2,5	0,378	0,423	0,404	0,086	-0,084	-0,088	0,080	0,080
0	0,256	0,320	0,192	0,085	0,088	0,086	0,085	0,085
2,5	0,154	0,179	0,205	0,141	0,084	0,085	0,082	0,085
5	0,128	0,128	0,102	0,102	0,086	0,082	0,082	0,085
7,5	0,081	0,081	0,081	0,084	0,085	0,082	0,082	0,082
10	0,088	0,088	0,088	0,085	0,082	0,082	0,086	0,082
12,5	0,082	0,088	0,088	0,088	0,084	0,085	0,086	0,082
15	0,082	0,088	0,088	0,077	0,113	0,115	0,083	0,086
20	0,083	0,086	0,086	0,083	0,082	0,085	0,081	0,083
25	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083
30						0,083	0,083	0,081

Для отрицательных значений  $x$  компоненты  $E_y$  и  $E_z$  имеют такие же значения, что и для положительных  $x$ .

Для отрицательных значений  $z$  компоненты  $E_x$  и  $E_y$  имеют такие же значения, что и для положительных  $z$ , компонента  $E_z$  меняет знак на противоположный; при  $z=0$   $E_z=0$ .

Таблица II

Компоненты электростатического поля фокусирующих электродов и дуанта при наличии плазмы дугового разряда источника  $U_{CM} = -1,5$  кв,  $U_{\phi} = -15$  кв

$$1) \quad E_x^{\phi}(x, y) \left[ \frac{КВ}{СМ} \right]; z=0$$

$y(см)$	2,5	5	7,5	12,5	17,5	35
-12,5	0,089	0,095	0,062	0,031	0,023	-0,023
-10	0,086	0,101	0,105	0,082	0,063	-0,031
-7,5	0,148	0,167	0,164	0,094	0,031	-0,035
-5	0,242	0,234	0,234	0,133	0,039	-0,043
-2,5	0,320	0,289	0,261	0,160	0,039	-0,070
0	0,335	0,305	0,297	0,164	0,039	-0,086
2,5	0,187	0,250	0,262	0,136	0,008	-0,117
5	0,133	0,203	0,208	0,086	-0,009	-0,148
7,5	0,090	0,140	0,140	0,016	-0,101	-0,195
10	0,048	0,082	0,078	-0,016	-0,148	-0,242
12,5	0,020	0,031	0,027	-0,047	-0,164	-0,273
15	0,012	0,012	0,012	-0,086	-0,148	-0,292
17,5	0,016	0,012	0,012	-0,047	-0,101	-0,289
20	0,008	0,012	0,012	-0,006	-0,062	-0,242
22,5	0,008	0,008	0,012	-0,016	-0,039	-0,180
25	0,008	0,008	0,008	-0,016	-0,023	-0,121
27	0,008	0,008	0,008	-0,008	-0,014	-0,082
30				-0,010	-0,059	

$$2) \quad E_x^{\phi}(x, y) \left[ \frac{КВ}{СМ} \right]; z=2 см$$

$y(см)$	2,5	5	7,5	12,5	17,5	35
-12,5	0,043	0,062	0,062	0,069	0,089	-0,089
-10	0,078	0,109	0,117	0,062	0,061	-0,089
-7,5	0,140	0,172	0,187	0,086	0,087	-0,083
-5	0,222	0,238	0,265	0,148	0,047	-0,075
-2,5	0,289	0,293	0,320	0,180	0,031	-0,078
0	0,305	0,312	0,335	0,180	0,039	-0,084
2,5	0,180	0,289	0,305	0,148	0,012	-0,125
5	0,133	0,234	0,234	0,101	-0,047	-0,156
7,5	0,086	0,148	0,136	0,037	-0,101	-0,195
10	0,047	0,086	0,086	-0,020	-0,148	-0,226
12,5	0,031	0,031	0,031	-0,031	-0,156	-0,238
15	0,016	0,020	0,016	-0,039	-0,133	-0,289
17,5	0,014	0,012	0,016	-0,023	-0,086	-0,273
20	0,012	0,016	0,016	-0,023	-0,047	-0,226
22,5	0,012	0,012	0,012	-0,016	-0,023	-0,148
25		0,012	-0,016	-0,020	-0,101	
27,5				-0,016	-0,062	
30					-0,089	

$$3) \quad E_x^{\phi}(x, y) \left[ \frac{КВ}{СМ} \right]; z=4 см$$

$y(см)$	2,5	5	7,5	12,5	17,5	35
-12,5	0,062	0,078	0,078	0,062	0,057	-0,047
-10	0,070	0,125	0,140	0,099	0,047	-0,047
-7,5	0,109	0,211	0,270	0,094	0,039	-0,047
-5	0,133	0,265	0,383	0,148	0,047	-0,059
-2,5	0,180	0,325	0,491	0,203	0,062	-0,078
0	0,218	0,367	0,507	0,211	0,047	-0,101
2,5	0,208	0,421	0,476	0,180	-0,027	-0,133
5	0,203	0,383	0,336	0,109	-0,086	-0,172
7,5	0,148	0,234	0,211	0,031	-0,164	-0,215
10	0,078	0,117	0,109	-0,039	-0,218	-0,258
12,5	0,031	0,047	0,047	-0,059	-0,234	-0,305
15	0,020	0,020	0,020	-0,027	-0,148	-0,340
17,5	0,016	0,016	0,016	-0,020	-0,082	-0,336
20	0,016	0,016	0,016	-0,016	-0,028	-0,273
22,5		0,016	0,016	-0,016	-0,023	-0,133
25				-0,020	-0,022	-0,078
27,5				-0,016	-0,020	-0,047
30					-0,016	-0,089

$$4) \quad E_y^{\phi}(x, y) \left[ \frac{КВ}{СМ} \right]; z=0$$

$y(см)$	0	2,5	5	7,5	12,5	17,5	35
-15	-0,012	-0,008	-0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
-12,5	-0,031	-0,016		0,008	0,008	0,012	0,012
-10	-0,062	-0,039	-0,016	0,008	0,020	0,031	0,031
-7,5	-0,082	-0,059	-0,020	0,012	0,062	0,086	0,078
-5	-0,070	-0,023	-0,008	0,062	0,118	0,140	0,125
-2,5	0,086	0,031	0,101	0,143	0,187	0,211	0,180
0	0,226	0,234	0,250	0,273	0,273	0,221	
2,5	0,495	0,430	0,382	0,378	0,351	0,335	0,290
5	0,600	0,577	0,538	0,503	0,445	0,397	0,288
7,5	0,753	0,710	0,655	0,600	0,519	0,460	0,316
10	0,848	0,783	0,718	0,666	0,565	0,518	0,351
12,5	0,761	0,725	0,679	0,648	0,565	0,538	0,397
15	0,593	0,554	0,530	0,507	0,491	0,507	0,445
17,5	0,367	0,351	0,339	0,335	0,351	0,382	0,467
20	0,211	0,203	0,195	0,195	0,211	0,297	0,491
22,5	0,113	0,109	0,105	0,105	0,117	0,148	0,425
25	0,062	0,047	0,035	0,035	0,062	0,086	0,304
27,5	0,031	0,020	0,020	0,020	0,027	0,039	0,190
30	0,008	0,008	0,008	0,012	0,008	0,012	0,101
35	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,016

Для отрицательных значений  $x$  компонента  $E_x^{\phi}$  меняет знак на противоположный, при  $x=0$   $E_x^{\phi}=0$ .



Таблица II (продолжение)

5)  $E_y^\phi(x, y) \left[ \frac{KB}{CM} \right]; z = 2 \text{ см}$

$y \text{ (см)}$	0	2,5	5	7,5	12,5	17,5	25
-15	-0,008	-0,008	-0,008		0,008	0,008	0,008
-12,5	-0,023	-0,026	-0,008		0,008	0,026	0,026
-10	-0,070	-0,097	-0,026	0,008	0,026	0,082	0,082
-7,5	-0,208	-0,078	-0,082	0,008	0,058	0,098	0,090
-5	-0,078	-0,095	0,000	0,088	0,113	0,130	0,130
-2,5	0,070	0,026	0,086	0,128	0,198	0,211	0,198
0		0,198	0,218	0,242	0,281	0,281	0,262
2,5	0,480	0,387	0,357	0,375	0,387	0,386	0,278
5	0,600	0,590	0,546	0,515	0,485	0,402	0,312
7,5	0,781	0,761	0,679	0,625	0,538	0,468	0,385
10	0,896	0,898	0,761	0,710	0,625	0,538	0,385
12,5	0,881	0,810	0,794	0,702	0,646	0,585	0,437
15	0,581	0,589	0,507	0,500	0,508	0,588	0,492
17,5	0,289	0,297	0,289	0,281	0,297	0,387	0,395
20	0,136	0,164	0,146	0,146	0,164	0,221	0,288
22,5	0,086	0,086	0,086	0,086	0,094	0,117	0,180
25	0,081	0,081	0,081	0,081	0,089	0,083	0,229
27,5	0,022	0,026	0,026	0,026	0,020	0,082	0,142
30	0,008	0,008	0,008	0,022	0,024	0,026	0,081
32,5			0,008	0,008	0,008	0,008	0,080
35							0,088

6)  $E_y^\phi(x, y) \left[ \frac{KB}{CM} \right]; z = 4 \text{ см}$

$y \text{ (см)}$	0	2,5	5	7,5	12,5	17,5	25
-15	-0,008	-0,008	-0,008		0,008	0,008	0,008
-12,5	-0,016	-0,022	-0,008		0,008	0,022	0,022
-10	-0,094	-0,082	-0,026	0,008	0,022	0,022	0,022
-7,5	-0,180	-0,117	-0,070	0,008	0,027	0,088	0,088
-5	-0,108	-0,094	-0,070	0,008	0,084	0,117	0,108
-2,5	0,081	0,008	0,023	0,086	0,198	0,226	0,198
0		0,141	0,164	0,215	0,265	0,281	0,226
2,5	0,812	0,816	0,826	0,875	0,851	0,832	0,290
5	0,970	0,978	0,985	0,935	0,945	0,980	0,278
7,5	1,085	0,940	0,741	0,667	0,546	0,468	0,308
10	1,150	1,060	0,940	0,870	0,680	0,562	0,351
12,5	1,160	1,080	1,060	1,020	0,900	0,680	0,402
15	0,860	0,837	0,814	0,830	0,508	0,387	0,468
17,5	0,180	0,172	0,156	0,164	0,180	0,265	0,395
20	0,086	0,086	0,086	0,078	0,086	0,117	0,180
22,5	0,089	0,081	0,081	0,089	0,089	0,082	0,229
25	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,020	0,187
27,5	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,022	0,078
30	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,081
32,5							0,088
35							0,088

7)  $E_z^\phi(x, y) \left[ \frac{KB}{CM} \right]; z = 2 \text{ см}$

$y \text{ (см)}$	0	2,5	5	7,5	12,5	17,5	25
-15	-0,008	-0,008	-0,008	-0,008	-0,008	-0,008	-0,008
-10	-0,008	-0,008	-0,008	-0,008	-0,020	-0,026	-0,026
-7,5	-0,088	-0,081	-0,026	-0,022	-0,023	-0,081	-0,081
-5	-0,082	-0,086	-0,078	-0,093	-0,089	-0,081	-0,089
-2,5	-0,082	-0,117	-0,113	-0,086	-0,097	-0,088	-0,080
0		-0,164	-0,152	-0,108	-0,097	-0,027	-0,026
2,5	-0,226	-0,226	-0,180	-0,113	-0,097	-0,027	-0,026
5	-0,254	-0,223	-0,152	-0,094	-0,039	-0,023	-0,026
7,5	-0,144	-0,109	-0,078	-0,027	-0,008	-0,022	-0,026
10	0,095	0,070	0,076	0,086	0,059	0,022	-0,026
12,5	0,270	0,273	0,273	0,290	0,215	0,117	-0,024
15	0,278	0,277	0,281	0,265	0,278	0,226	0,000
17,5	0,164	0,168	0,172	0,164	0,195	0,226	0,082
20	0,086	0,084	0,080	0,086	0,108	0,141	0,191
22,5	0,022	0,089	0,085	0,089	0,051	0,078	0,238
25	0,022	0,026	0,022	0,029	0,026	0,081	0,208
27,5	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,022	0,117
30						0,008	0,082
32,5							0,023

8)  $E_z^\phi(x, y) \left[ \frac{KB}{CM} \right]; z = 4 \text{ см}$

$y \text{ (см)}$	0	2,5	5	7,5	12,5	17,5	25
-15	-0,008	-0,008	-0,008		-0,008	-0,008	-0,008
-12,5	-0,023	-0,023	-0,008		-0,008	-0,022	-0,023
-10	-0,008	-0,008	-0,022	-0,008	-0,027	-0,081	-0,089
-7,5	-0,101	-0,086	-0,031	-0,022	-0,062	-0,086	-0,084
-5	-0,187	-0,187	-0,156	-0,086	-0,104	-0,125	-0,117
-2,5	-0,164	-0,211	-0,242	-0,164	-0,094	-0,086	-0,078
0		-0,305	-0,320	-0,207	-0,094	-0,070	-0,097
2,5	-0,492	-0,484	-0,385	-0,211	-0,101	-0,078	-0,097
5	-0,610	-0,549	-0,322	-0,187	-0,105	-0,086	-0,078
7,5	-0,328	-0,289	-0,175	-0,125	-0,094	-0,086	-0,078
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,087	-0,086
12,5	0,585	0,570	0,616	0,600	0,660	0,121	-0,086
15	0,323	0,507	0,531	0,538	0,578	0,464	-0,086
17,5	0,289	0,284	0,289	0,300	0,351	0,433	0,000
20	0,148	0,148	0,148	0,152	0,187	0,242	0,328
22,5	0,078	0,078	0,078	0,086	0,096	0,117	0,170
25	0,021	0,021	0,021	0,021	0,023	0,027	0,375
27,5	0,024	0,026	0,024	0,022	0,026	0,027	0,200
30	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,022	0,101
32,5			0,008	0,008	0,008	0,008	0,082
35							0,081

Для отрицательных значений  $x$  компоненты  $E_y^\phi$  и  $E_z^\phi$  имеют такие же значения, что и для положительных  $x$ .

Для отрицательных значений  $z$  компоненты  $E_x^\phi$  и  $E_y^\phi$  имеют такие же значения, что и для положительных  $z$ , компонента  $E_z^\phi$  меняет знак на противоположный; при  $z = 0$   $E_z^\phi = 0$ .