

18
И-60

903



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Г. Индреаш, П.И. Рыльцев

903

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ
ПЛОСКОЙ КОЛЬЦЕВОЙ КАТУШКИ
С ТОКОМ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ПОЛЯ ЦИКЛОТРОНА

Дубна 1962 год

Г. Индреаш, П.И. Рыльцев

903

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ
ПЛОСКОЙ КОЛЬЦЕВОЙ КАТУШКИ
С ТОКОМ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ПОЛЯ ЦИКЛОТРОНА

1363/2 чг

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В в е д е н и е

Один из путей формирования магнитного поля в центральной зоне магнитов циклотронов - формирование с помощью токов. Использование "токового шиммирования" оправдывается удобством регулирования величины и формы распределения магнитного поля, а также тем, что оно поддается точному аналитическому расчету.

В последнее время интерес к вопросу формирования магнитного поля с помощью токов особенно возрос применительно к задачам коррекции формы радиального спада и среднего поля циклотронов с азимутальной вариацией магнитного поля или с переменной энергией.

"Токовое шиммирование" осуществляется обычно с помощью парных плоских кольцевых катушек с током, симметрично и соосно расположенных внутри ускорительной камеры.

Используя то обстоятельство, что высота обычных катушек для токового шиммирования меньше их радиуса, в настоящей работе авторы предлагают простой и удобный метод определения величины и формы магнитного поля такого рода катушек.

1. Поле плоского кругового витка с током

Расчет напряженности магнитного поля, создаваемого токами - задача классическая и ей посвящен ряд работ ^{/1,2,3,4/}. Однако, полученные выражения при интегрировании уравнения Био-Савара для конкретных случаев (прямоугольная и цилиндрическая катушки с током) чрезмерно громоздки.

Легко применять для практических расчетов выражения, полученные для магнитного поля витка с током ^{/2/}. Особенно удобны в этом смысле таблицы для B_z -компоненты поля плоского кругового витка с током (1), где при $\mu = 1$ табулированы непосредственно значения:

$$B_z = \frac{2 \mu I}{\sqrt{(r+R_0)^2 + z^2}} \left[K + \frac{R_0^2 - r^2 - z^2}{(R_0 - r)^2 + z^2} E \right], \quad (1)$$

где B_z - напряженность магнитного поля (z - овая компонента), I - ток в витке, R_0 - радиус витка, r, z - текущие координаты (рис.2), K, E - полные эллиптические интегралы первого и второго рода от модуля K_0 .

$$K_0^2 = \frac{4rR_0}{(r+R_0)^2 + z^2}$$

К сожалению, ограниченный диапазон табулирования ($0 < z/R_0 < 0,36$) не позволяет использовать эти таблицы в наших случаях, когда параметр отдельных витков $z/R_0 \gg 0,36$. Табулирование подобного рода было продолжено в расчетном бюро ЛТФ ОИЯИ на машинах ручного счета^{15/} для области значений $z/R_0 > 0,36$. Однако шаг табулирования $\Delta(z/R_0)$ слишком велик и точность расчетов для промежуточных z/R_0 может оказаться недостаточной. Поэтому первым шагом для решения задачи о распределении магнитного поля плоской кольцевой катушки с током явилось продолжение табулирования поля кругового витка с током для значений $z/R_0 > 0,36$ с меньшим шагом. Для этой цели на электронно-счетной машине были рассчитаны значения функции:

$$F(z/R_0, r/R_0) = \frac{H_z R_0}{I} = \frac{0,2}{\sqrt{(1+r/R_0)^2 + (z/R_0)^2}} \left[K + \frac{1-(r/R_0)^2 - (z/R_0)^2}{(1-r/R_0)^2 + (z/R_0)^2} E \right], \quad (1')$$

которая описывает поле витка с единичным током при значении $\mu = 1$. Значения K и E соответствующего модуля $K_0^2 = \frac{4rR_0}{(1+r/R_0)^2 + (z/R_0)^2}$ брались из таблиц^{18/}. Для промежуточных значений K_0 использовалась линейная интерполяция.

Вычисленные значения $\frac{H_z R_0}{mI} = f(r/R_0, z/R_0)$ в пределах $0 < r/R_0 < 3$ и $0,02 < z/R_0 < 5,5$ приведены в таблицах 1-7, где H_z напряженность поля (э), I - ток в витке (ампер), R_0 - радиус витка (см).

Значения m - для таблиц 1-4 $m = 10, 0,1$
 -" - 5-6 $m = 100, 0,01$
 -" - 7 $m = 1000, 0,001$

Мы ограничились рассмотрением одной лишь z -овой компоненты поля так как $H_\phi = 0$ (аксиально-симметричное поле). Если учесть еще, что при формировании поля нас интересует только поле в средней ("медианной") плоскости пары симметричных и соосных катушек, где $H_r = 0$, то данное ограничение оказывается вполне разумным.

Из рассмотрения выражения для магнитного поля на оси витка ($r/R_0 = 0$)

$$H_{z_0} = 0,2 \pi I [1 + (z/R_0)^2]^{-3/2} \quad (2)$$

следует, что при $z \sim 5R_0$ значение поля уменьшается более чем в 1000 раз по сравнению с соответствующим значением в плоскости витка (рис. 1). Поэтому оказалось разумным ограничить табулирование значением $z/R_0 = 5,5$.

2. Поле плоской кольцевой катушки ($\mu=1$)

Поле плоской кольцевой катушки с током найдем исходя из выражения для поля плоского кругового витка с током (1) путем интегрирования по r в соответствующих пределах R_1 и R_2 ($R_1 < R_0 < R_2$), положив

$$I = j dr, \quad (3)$$

где j - линейная плотность тока (а/см).

Хотя численное интегрирование в каждом конкретном случае и не представляет чрезмерных трудностей, в большинстве практических случаев для нахождения поля с достаточной точностью можно пользоваться более простым способом.

При условии, когда высота катушки намного меньше остальных параметров, $\delta \ll R_0$, $\delta \ll z$, что практически всегда выполняется в случае "токового шиммирования" в циклотроне, поле катушки можно найти путем простого алгебраического суммирования полей отдельных витков - "элементарных катушек" с различным значением $(z/R_0)_i$, значения которых равны или близки к табличным.

Измерения, проводимые на макете, показывают, что для катушек, имеющих высоту $\delta = 0,7$ см, средний радиус $R_0 = \frac{1}{2}(R_1 + R_2) = 13,5$ см и ширину $\Delta R = 5$ см ($\frac{\Delta R}{R_0} = 0,37$), расположенных, как указано на рис. 2, поле в медианной плоскости $z' = 16$ см ($z/R_0 \geq 1,15$) хорошо описывается уже в первом приближении,

если считать, что суммарный ток катушек $I_w = 6900$ (w - число витков катушек) сосредоточен в одном витке, имеющем $R_0 = 13,5$ см ($z/R_0 = 1,147$).

Из рисунка 4 видно, что такое рассмотрение согласуется с экспериментом в пределах точности измерения. В случае $z' = 6$ см ($z/R_0 = 0,44$) видно, что лучшие результаты получаются при замене катушки двумя "элементарными катушками" -

витков с $R_{01} = 12,4 \text{ см}$ ($z/R_{01} = 0,454$) и с $R_{02} = 14,9 \text{ см}$ ($z/R_{02} = 0,377$) соответственно, которые суммарный ток $I_w = I_w = \frac{1}{2} I_w = 3450 \text{ ав}$. На рис. 4 распределение дей этих "элементарных катушек" нанесены пунктиром).

Если необходимо получить более высокую точность, реальную катушку следует заменить большим числом витков.

3. Влияние полюсных наконечников магнита на распределение поля катушек с током при формировании поля циклотрона

Известно [6,7], что в случае тока, текущего по прямолинейному бесконечному проводу, помещенному на плоскости раздела двух бесконечных сред с магнитной проницаемостью $\mu_1 = 1$ (воздух) и $\mu_2 = \infty$ (идеальное железо), напряженность магнитного поля в среде, в которой помещен ток (в нашем случае - в воздухе), будет определяться суммарным действием тока I , текущего по реальному проводу и его оптическим "отображением" $I^* = \frac{\mu - 1}{\mu + 1} I$ того же направления, что и I .

В первом приближении будем считать, что железо имеет бесконечную проницаемость ($\mu = \infty$) и, следовательно, $I^* = I$.

В случае формирования поля циклотрона проводники с током помещаются на плоскопараллельные поверхности железа крышек внутри ускорительной камеры или на поверхности полюсных наконечников над крышками ускорительной камеры. В дальнейшем мы рассматриваем лишь первый случай, для которого расположение плоской кольцевой катушки с током показано на рис. 3. (В целях упрощения изображен лишь один круговой виток с током над плоскостью нижней крышки).

В этом случае поле такого витка будет определяться током I , текущим через реальный виток, и системой, состоящей из бесконечного числа токов - "отражений", отстоящих от медианной плоскости циклотрона на расстояниях $\frac{l}{2}, \frac{3l}{2}, \frac{5l}{2}, \dots, \frac{(2n+1)l}{2}, \dots$. Все эти токи равны между собой и текут в одном направлении.

Удобное выражение для распределения поля $H^* = f\left(\frac{r}{R_0}, \frac{z}{R_0}\right)$ токов, помещенных между двумя железными плоскостями ($\mu = \infty$), удается получить лишь в случае прямолинейных бесконечных проводников с током [6,7].

Для кругового витка рассмотрим сначала частный случай, а именно: выражение для поля на оси витка ($r/R_0=0$) при $z=\frac{\ell}{2}$ (медианная плоскость).

В этом случае

$$H^*(0, \ell/2) = 0,4 \pi I \left\{ \left[1 + \left(\frac{\ell}{2R_0} \right)^2 \right]^{-3/2} + \left[1 + \left(\frac{3\ell}{2R_0} \right)^2 \right]^{-3/2} + \left[1 + \left(\frac{5\ell}{2R_0} \right)^2 \right]^{-3/2} + \dots \right. \\ \left. \dots + \left[1 + \left(\frac{(2n+1)\ell}{2R_0} \right)^2 \right]^{-3/2} + \dots \right\} = 0,4 \pi I \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left[1 + \left(\frac{(2n+1)\ell}{2R_0} \right)^2 \right]^{-3/2} \right\}. \quad (3)$$

Многочисленные измерения полей плоских кольцевых катушек с током, размещенных, как показано на рис. 3, на железных крышках камеры циклотрона, показали, что распределения магнитного поля в этом случае мало отличаются по форме от распределения поля подобной геометрии на макете, когда железные плоскости удалены ($\mu=1$).

На рис. 5 и 6 приведены зависимости $H_z = f(r/R_0)$ при различных z/R_0 для плоской кольцевой катушки с током (значения H_z нормированы к значению поля на оси катушки H_{z0}). Зависимости для случая, когда катушки были помещены между железными плоскостями полюсов электромагнита циклотрона, нанесены пунктиром. Жирной линией обозначены те же зависимости, снятые на макете при неизменной геометрии, но без железа ($\mu=1$).

Видно, что для случаев $\ell > 24$ см ($\ell/R_0 > 1,8$) разница в форме этих кривых мала и лежит в пределах точности измерения ($\sim 2\%$). Хорошее совпадение получается в центральной области катушек, где $\frac{dH}{dr}$ мало для всех значений $\frac{\ell}{R_0}$.

Поэтому при практических расчетах полей кольцевых катушек с током, помещенных между плоско-параллельными плоскостями железа ($\mu = \infty$), целесообразно пользоваться "коэффициентом отражения", который определяется отношением значения напряженности магнитного поля на оси катушки (витка) с током, помещенного между железными плоскостями H^*_{z0} , к соответствующему значению поля той же катушки (витка) с током в воздухе ($\mu=1$).

$$K = \frac{0,4 \pi I \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left[1 + \left(\frac{(2n+1)\ell}{2R_0} \right)^2 \right]^{-3/2} \right\}}{0,2 \pi I \left[1 + \left(\frac{\ell}{2R_0} \right)^2 \right]^{-3/2}} = \frac{2 \left[1 + \left(\frac{\ell}{2R_0} \right)^2 \right]^{3/2}}{\sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left[1 + \left(\frac{(2n+1)\ell}{2R_0} \right)^2 \right]^{2,3/2} \right\}}. \quad (4)$$

В области $r/R_0 < 0,5$ можно считать с достаточной для практических случаев точностью $K = \text{const}$ при любых значениях l/R_0 . Для $r/R_0 > 0,5$ следует принимать $K = \text{const}$ лишь для больших значений межполюсного зазора l ($\frac{l}{R_0} > 2$). Значения $K_{\text{отр}}$ рассчитаны на электронно-счетной машине с точностью не хуже 0,02%. Для этой цели вычислялось значение $\sum_{n=0}^{\infty} \{1 + (2n+1)^2 x^2\}^{-3/2}$,

где $x = l/2R_0$ суммировались до соответствующего члена по n . Зависимость $K = f(l/2R_0)$ дана на рис. 7. Точками нанесены экспериментально полученные значения. Наблюдаемые отклонения от расчетной кривой в области больших l ($l/2R_0 > 1$) объясняются, по-видимому, тем, что измерения проводились хотя и при больших, но конечных размерах железных поверхностей ($\Phi = 150$ см, $\frac{\Phi}{2R_0} = 5$).

4. Влияние магнитной проницаемости железа на распределение поля плоской кольцевой катушки с током, помещенной в зазоре электромагнита циклотрона

При рассмотрении распределения магнитного поля катушек с током, помещенных между плоскопараллельными плоскостями с железом, мы предполагали, что магнитная проницаемость железа бесконечно велика. Это предположение вполне оправдывается, так как для всех практических случаев значение μ достаточно большое. При $\mu > 50$ ошибка в определении значения тока I^* невелика:

$$\Delta I^* = I - I^* < 4\%$$

и поэтому распределение поля мало отличается от того, которое получается в предположении, что $\mu = \infty$.

Измерения, проведенные на электромагните полутораметрового циклотрона, подтверждают эти положения. На рис. 8 видно, что при изменении основного поля циклотрона в пределах 0-15 Кэ картина распределения магнитного поля шиммирующей катушки осталась практически без изменения.

В заключение надо отметить, что случай, когда катушка с током размещена на краю полюса, и связанные с этим явления (неравномерное насыщение, краевой эффект) подлежат особому рассмотрению.

Авторы благодарны Т.П. Кочкиной и Т.В. Рыльцевой за выполнение расчетов на электронно-счетной машине, Г.Н. Вялову и В.И. Данилову за полезные дискуссии.

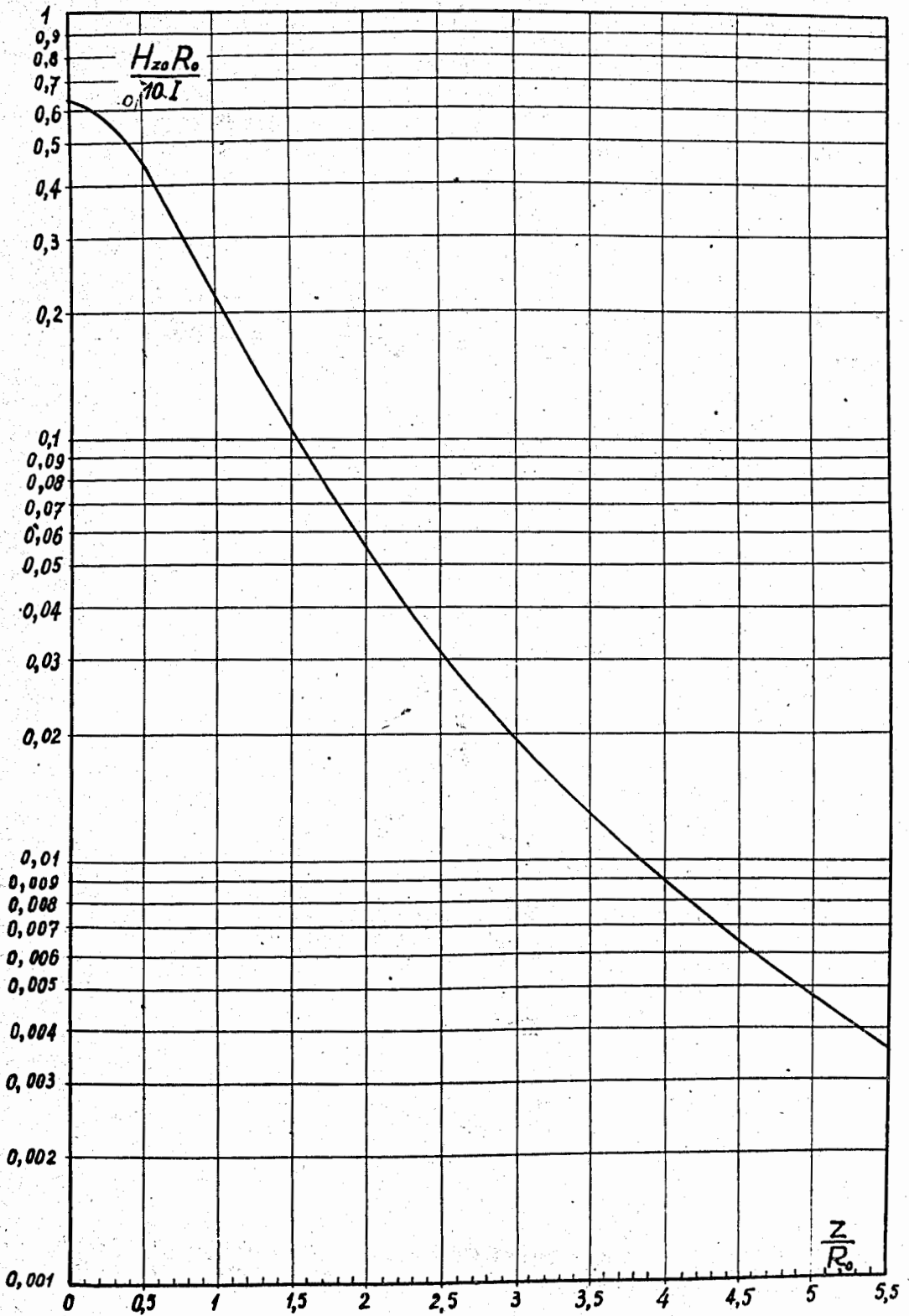


Рис. 1. Магнитное поле на оси витка с единичным током

$$H_{z_0} = f(z/R_0)$$

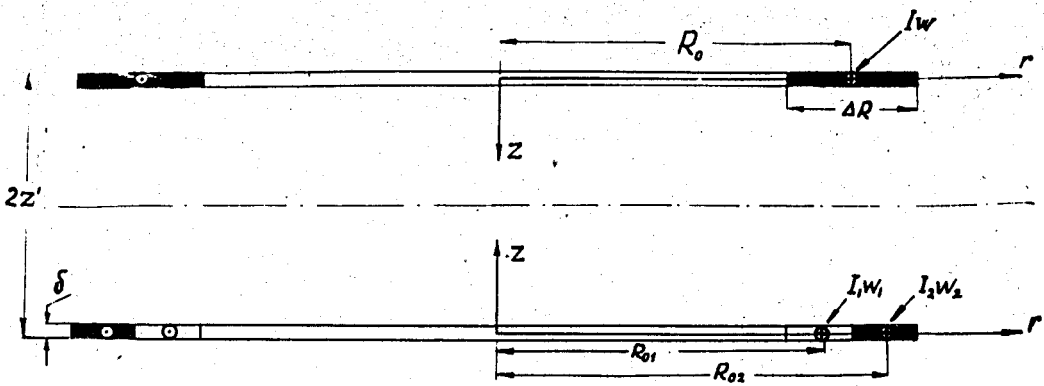


Рис. 2. Схема расположения катушек (макет).

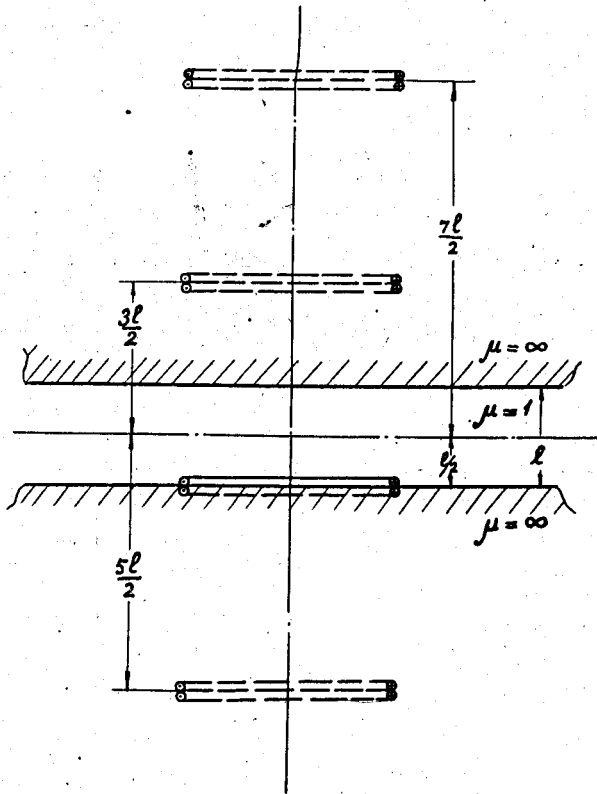


Рис. 3. Схема расположения витка (плоской катушки) между полюсами магнита (пунктиром нанесена система для расчета "отражений").

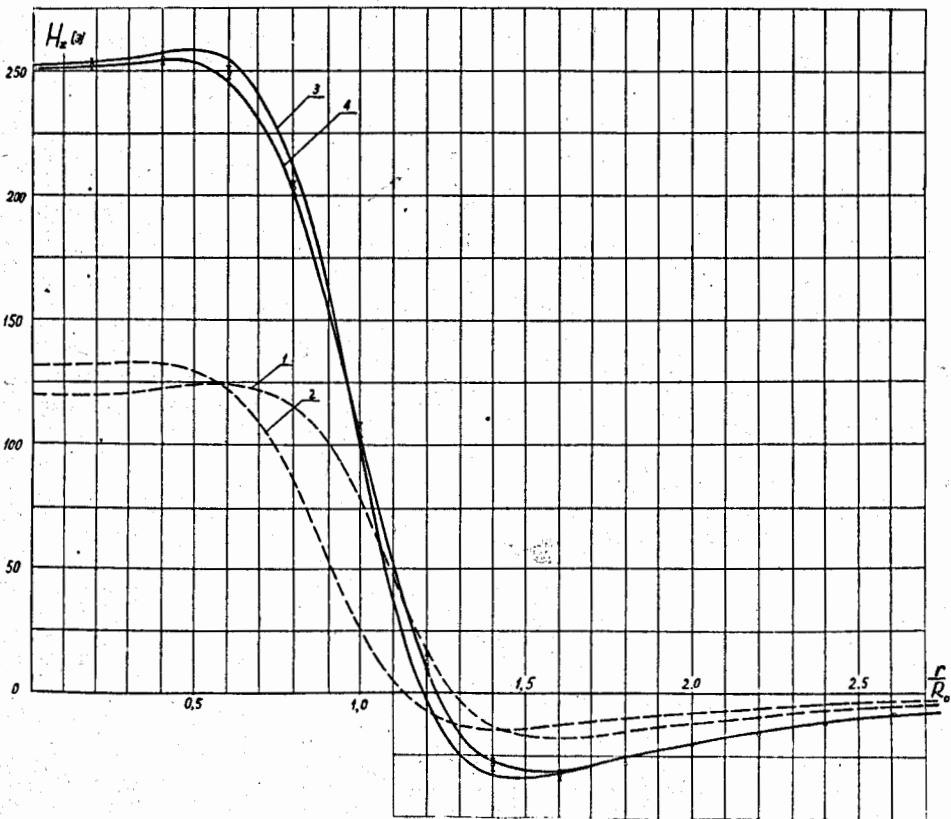
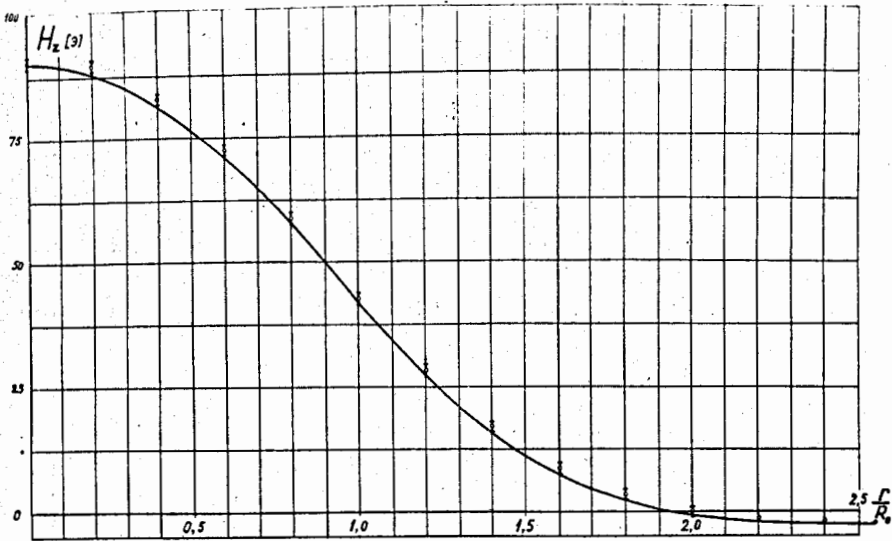


Рис. 4. Распределение поля плоской катушки с током. $H_z = f(r/R_0)$ при $z/R_0 = 1,147$ (верхний график) и $z/R_0 = 0,412$ (нижний график).

1. Расчетная кривая H'_z при $\frac{z}{R_0} = 0,454$.
2. То же H''_z при $\frac{z}{R_0} = 0,377$.
3. Расчетная кривая ${}^{0,2}H_z$ (первое приближение $\frac{z}{R_0} = 0,412$)
4. То же $H_z = H'_z + H''_z$ (второе приближение).

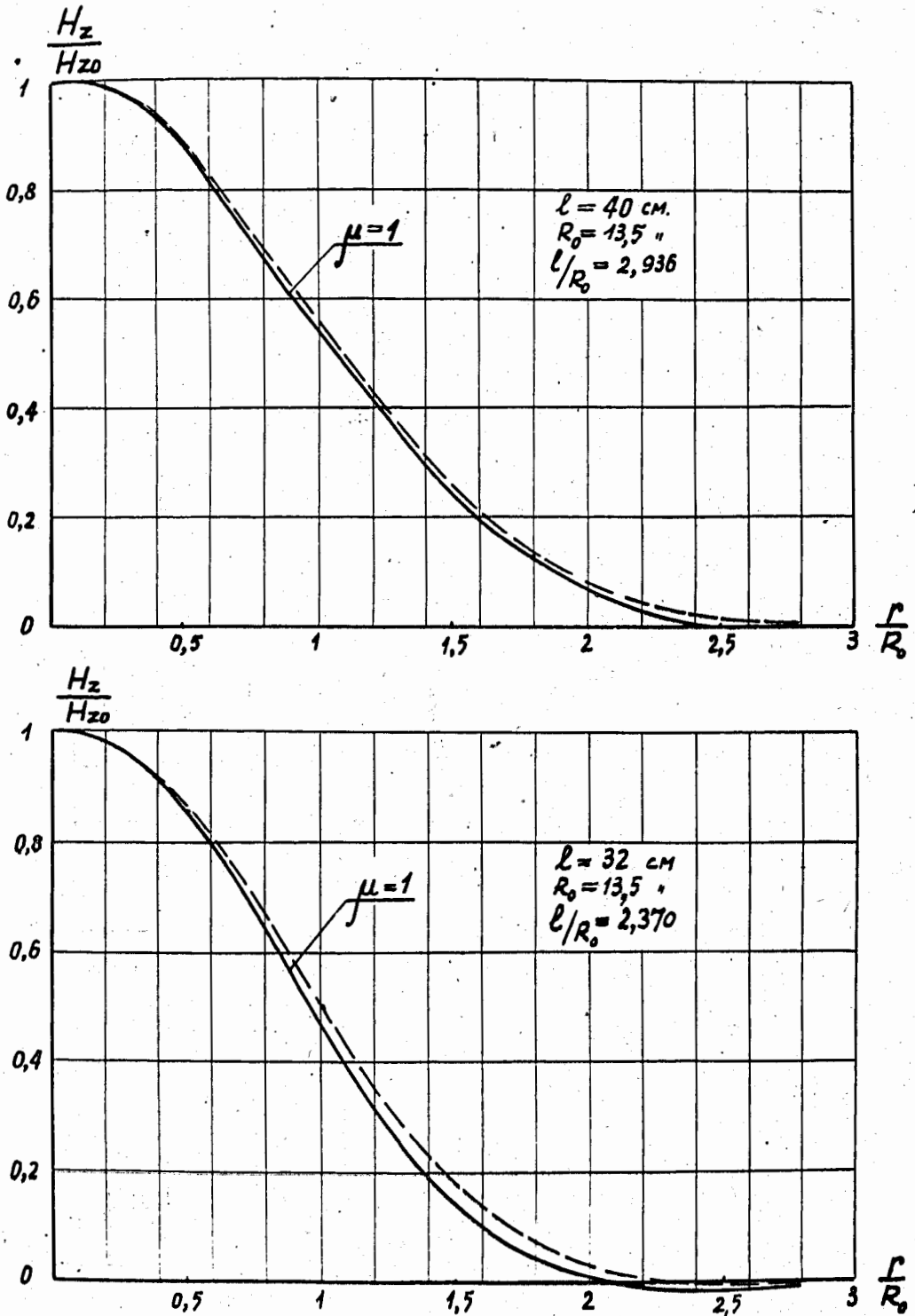


Рис. 5. Зависимости $H_z = f(r/R_0)$ для плоской катушки с током (в относительных единицах). Пунктиром нанесены те же зависимости для катушки, помещенной между полюсами электромагнита.

- а) верхний график $l/R_0 = 2,936$,
 б) нижний график $l/R_0 = 2,370$.

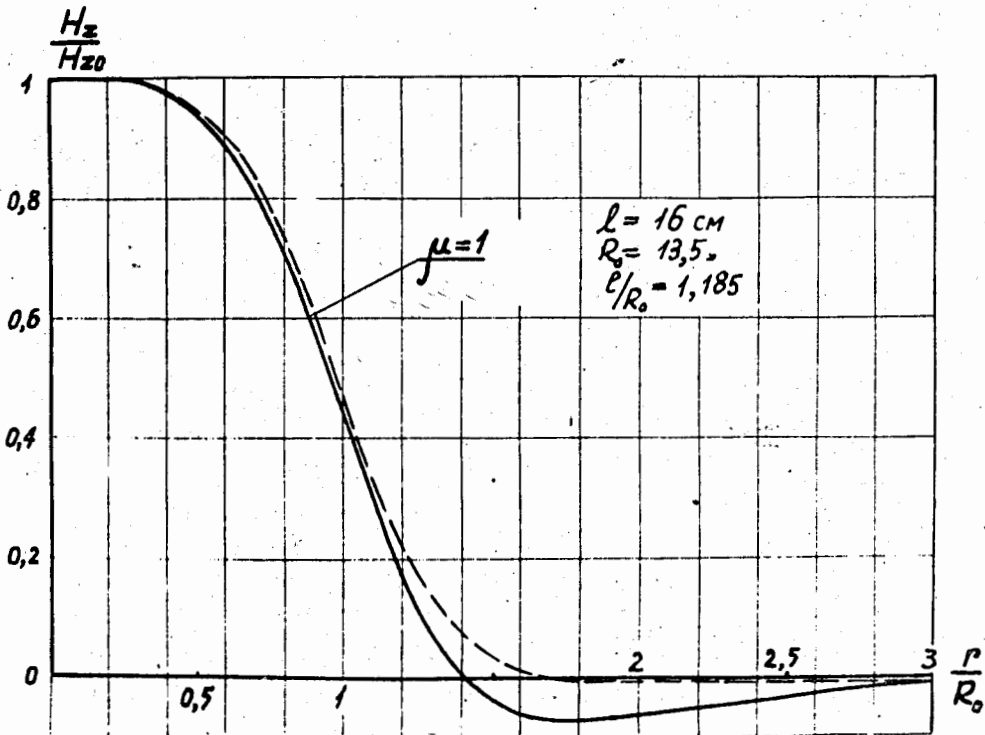
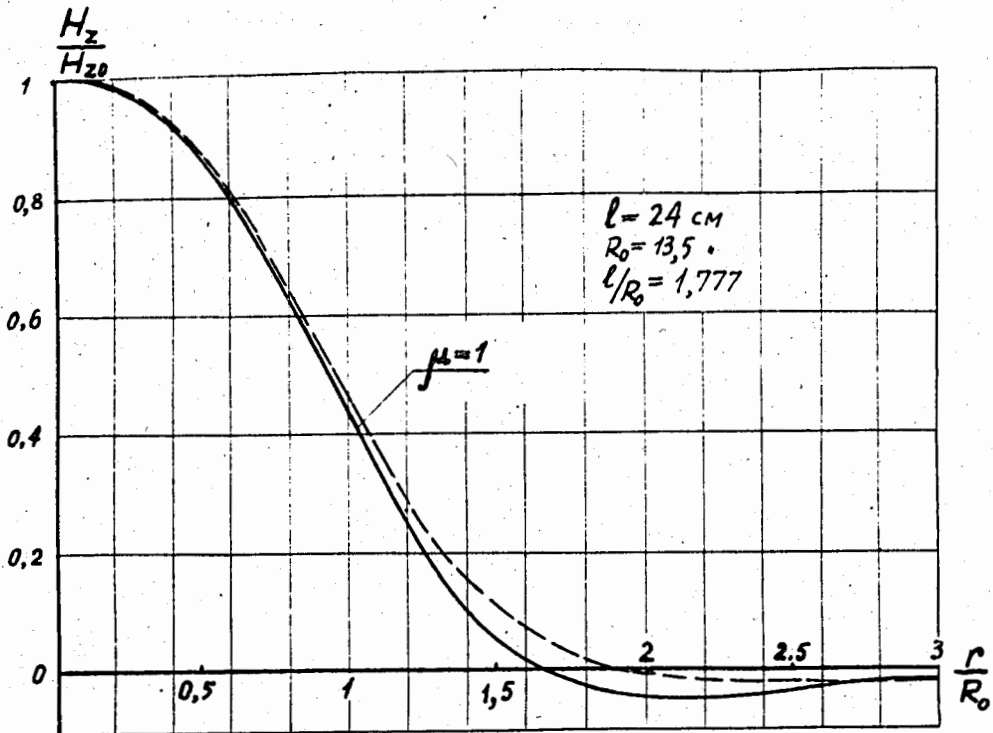


Рис. 6. То же, что и рис. 5.

а) верхний график $l/R_0 = 1,777$,б) нижний график $l/R_0 = 1,185$.

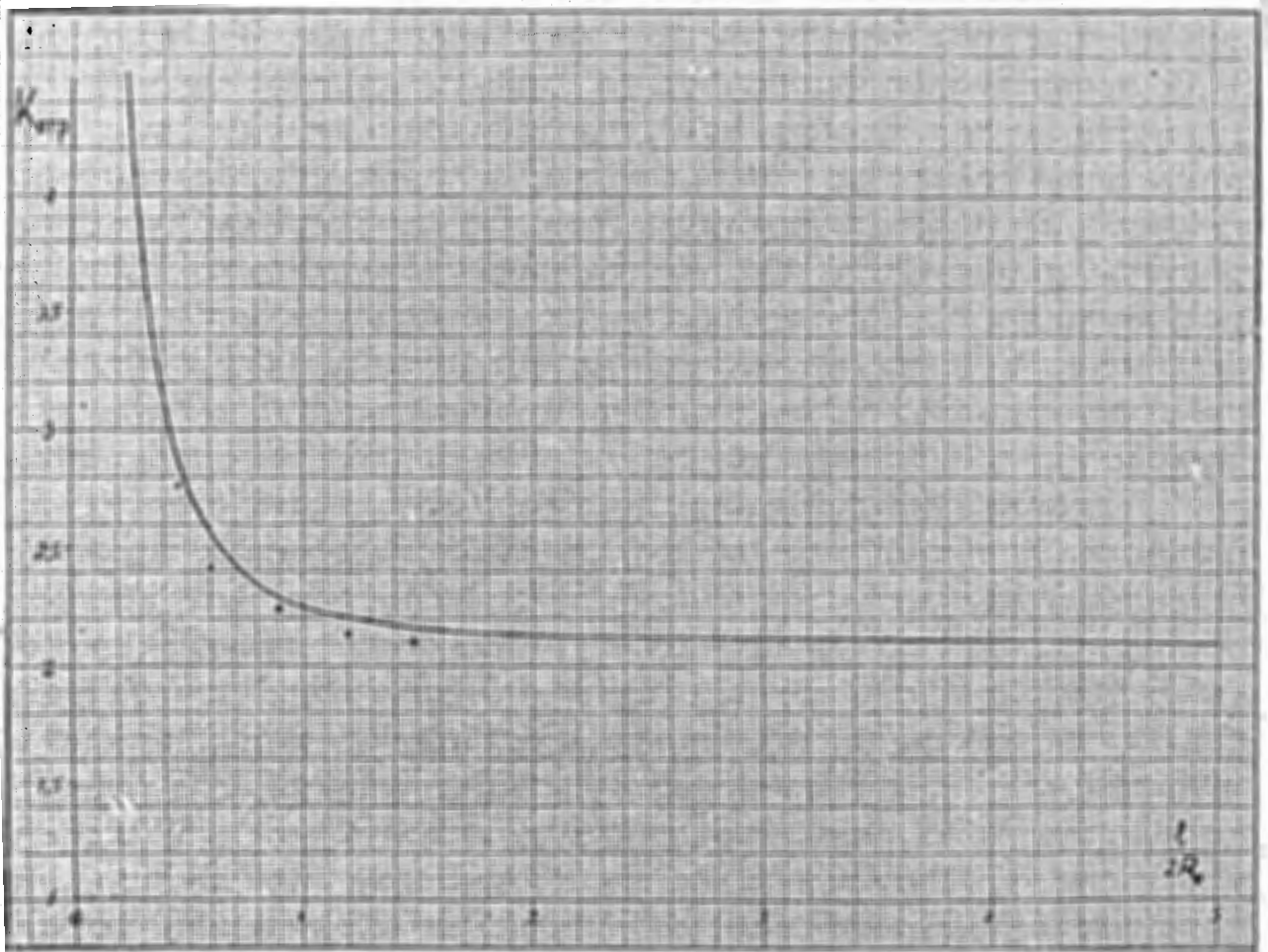


Рис. 7. Зависимость $K = f(l/2R_0)$



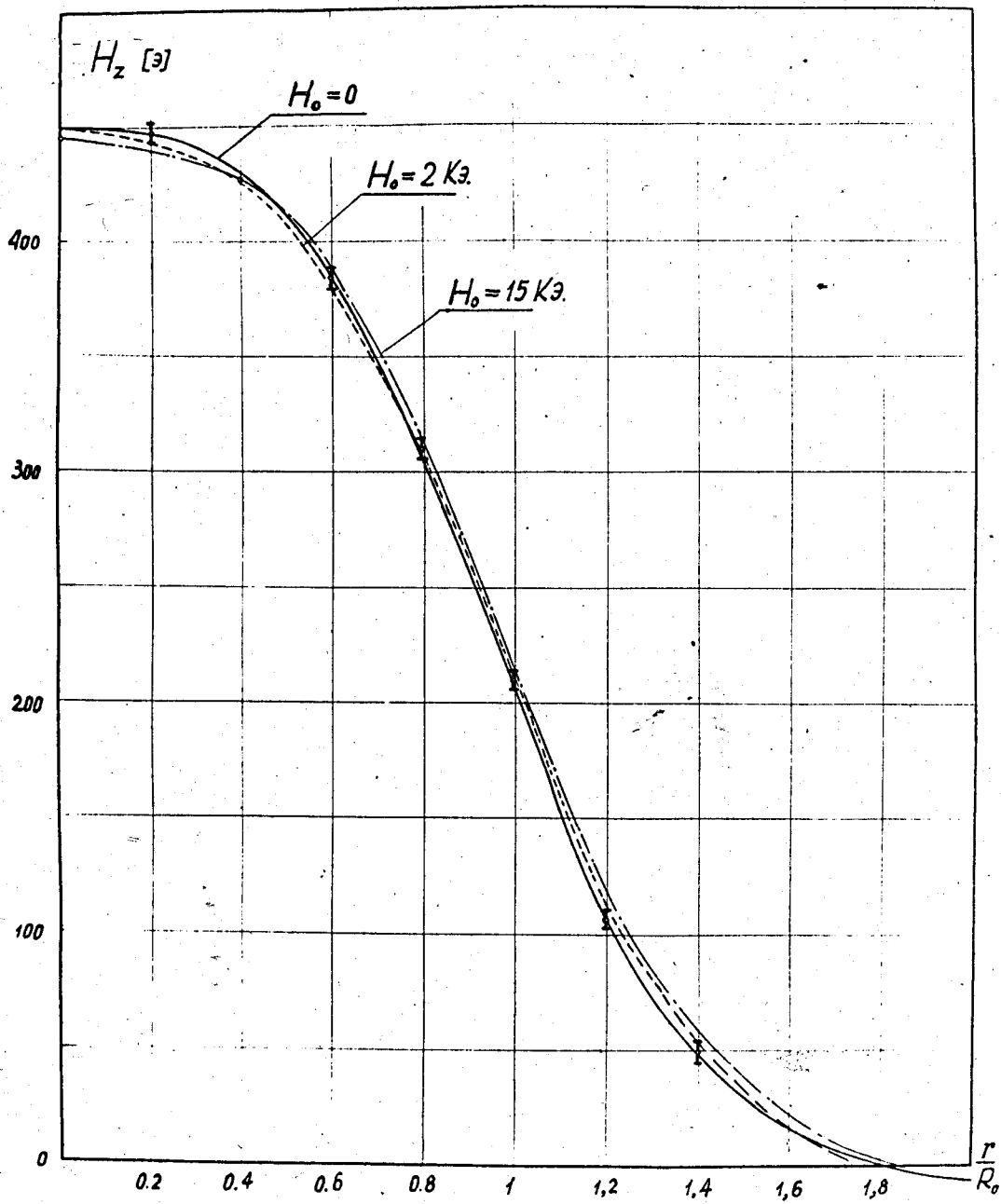


Рис. 8. Распределение магнитного поля плоской катушки с током, помещенной в зазоре электромагнита циклотрона при разных значениях основного поля.

Таблица 1.

$$\frac{H_z R_z}{\gamma_0 I} = f\left(\frac{z}{R_z}, \frac{z}{R_z}\right)$$

$\frac{z}{R_z}$	b														
$\frac{z}{R_z}$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30
0	6,279	6,268	6,249	6,225	6,190	6,149	6,102	6,049	5,989	5,924	5,853	5,776	5,695	5,610	5,521
0,10	6,326	6,315	6,295	6,268	6,234	6,192	6,143	6,088	6,026	5,958	5,885	5,806	5,723	5,635	5,543
0,20	6,474	6,461	6,439	6,409	6,370	6,324	6,270	6,208	6,140	6,065	5,984	5,897	5,806	5,710	5,610
0,30	6,741	6,725	6,698	6,662	6,615	6,559	6,494	6,420	6,339	6,250	6,154	6,053	5,946	5,835	5,720
0,40	7,164	7,142	7,107	7,059	6,997	6,924	6,839	6,743	6,638	6,525	6,404	6,277	6,145	6,008	5,867
0,50	7,816	7,784	7,732	7,660	7,571	7,464	7,342	7,207	7,060	6,904	6,739	6,568	6,393	6,215	6,035
0,55	8,268	8,228	8,162	8,071	7,957	7,823	7,672	7,504	7,324	7,134	6,937	6,734	6,529	6,321	6,114
0,60	8,844	8,791	8,702	8,582	8,433	8,259	8,064	7,851	7,625	7,389	7,148	6,903	6,657	6,414	6,174
0,65	9,593	9,517	9,394	9,228	9,024	8,789	8,528	8,249	7,958	7,660	7,359	7,059	6,765	6,477	6,198
0,70	10,594	10,481	10,288	10,055	9,761	9,429	9,069	8,691	8,306	7,921	7,542	7,173	6,811	6,479	6,157
0,75	11,991	11,807	11,514	11,132	10,683	10,188	9,670	9,144	8,625	8,123	7,644	7,192	6,770	6,375	6,011
0,80	14,064	13,727	13,205	12,548	11,808	11,022	10,259	9,573	8,811	8,162	7,569	7,030	6,543	6,103	5,707
0,85	17,439	16,702	15,621	14,354	13,039	11,731	10,605	9,563	8,647	7,850	7,159	6,559	6,039	5,594	5,187
0,90	23,834	21,677	18,918	16,169	13,745	11,735	10,110	8,807	7,760	6,922	6,248	5,644	5,104	4,758	4,442
0,95	39,499	28,963	20,554	15,064	11,585	9,270	7,700	6,532	5,755	5,124	4,628	4,231	3,904	3,631	3,399
1,00	4,973	4,294	3,891	3,601	3,376	3,191	3,036	2,900	2,779	2,671	2,573	2,483	2,400	2,323	2,251
1,05	-29,762	-29,026	-12,672	-7,624	-4,630	-2,744	-1,517	-0,892	-0,123	0,279	0,569	0,780	0,934	1,048	1,132
1,10	-15,152	-13,308	-10,964	-8,658	-6,659	-5,034	-3,752	-2,755	-1,979	-1,374	-0,901	-0,526	-0,220	0,0067	0,196
1,15	-9,469	-8,884	-8,032	-7,039	-6,021	-5,054	-4,178	-3,411	-2,762	-2,193	-1,721	-1,325	-0,993	-0,714	-0,479
1,20	-6,604	-6,357	-5,975	-5,497	-4,964	-4,412	-3,867	-3,350	-2,872	-2,438	-2,050	-1,706	-1,402	-1,137	-0,904
1,25	-4,917	-4,792	-4,595	-4,338	-4,038	-3,711	-3,371	-3,031	-2,701	-2,385	-2,090	-1,816	-1,566	-1,338	-1,132
1,30	-3,823	-3,722	-3,639	-3,489	-3,308	-3,104	-2,886	-2,660	-2,432	-2,207	-1,998	-1,799	-1,621	-1,466	-1,324
1,35	-3,066	-3,022	-2,952	-2,858	-2,742	-2,610	-2,465	-2,310	-2,151	-1,989	-1,828	-1,670	-1,518	-1,371	-1,231
1,40	-2,576	-2,488	-2,442	-2,380	-2,302	-2,213	-2,112	-2,004	-1,891	-1,773	-1,654	-1,535	-1,417	-1,302	-1,190
1,45	-2,103	-2,084	-2,052	-2,009	-1,956	-1,893	-1,822	-1,744	-1,661	-1,574	-1,485	-1,394	-1,303	-1,213	-1,124
1,50	-1,784	-1,770	-1,748	-1,717	-1,679	-1,633	-1,581	-1,524	-1,462	-1,397	-1,329	-1,260	-1,189	-1,118	-1,047
1,60	-1,329	-1,321	-1,309	-1,292	-1,270	-1,245	-1,215	-1,182	-1,147	-1,108	-1,067	-1,025	-0,981	-0,936	-0,890
1,70	-1,025	-1,020	-1,013	-1,003	-0,990	-0,974	-0,957	-0,936	-0,914	-0,890	-0,864	-0,837	-0,809	-0,779	-0,749
1,80	-0,812	-0,809	-0,804	-0,798	-0,790	-0,780	-0,768	-0,755	-0,741	-0,725	-0,708	-0,690	-0,671	-0,651	-0,630
1,90	-0,657	-0,655	-0,652	-0,648	-0,642	-0,636	-0,628	-0,619	-0,609	-0,598	-0,587	-0,574	-0,561	-0,547	-0,533
2,00	-0,540	-0,539	-0,537	-0,534	-0,531	-0,526	-0,521	-0,514	-0,508	-0,500	-0,492	-0,483	-0,474	-0,464	-0,453
2,10	-0,452	-0,451	-0,449	-0,447	-0,444	-0,441	-0,437	-0,433	-0,428	-0,422	-0,416	-0,410	-0,403	-0,396	-0,388
2,20	-0,382	-0,381	-0,380	-0,378	-0,376	-0,374	-0,371	-0,368	-0,364	-0,360	-0,356	-0,351	-0,346	-0,340	-0,335
2,30	-0,326	-0,325	-0,324	-0,323	-0,322	-0,320	-0,318	-0,315	-0,313	-0,310	-0,306	-0,303	-0,299	-0,295	-0,290
2,40	-0,281	-0,280	-0,280	-0,279	-0,278	-0,276	-0,275	-0,273	-0,271	-0,268	-0,266	-0,263	-0,260	-0,257	-0,254
2,50	-0,244	-0,244	-0,243	-0,242	-0,241	-0,240	-0,239	-0,238	-0,236	-0,234	-0,232	-0,230	-0,228	-0,225	-0,223
3,00	-0,132	-0,132	-0,132	-0,132	-0,131	-0,131	-0,131	-0,130	-0,130	-0,129	-0,128	-0,128	-0,127	-0,126	-0,125

Таблица 2.

$$H_2 R_2 = f\left(\frac{z}{R_2}\right) \quad 1363/2 \quad 59$$

$\frac{z}{R_2}$	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60
0	5,428	5,332	5,232	5,132	5,029	4,924	4,818	4,711	4,603	4,493	4,388	4,280	4,173	4,067	3,961
0,10	5,448	5,349	5,249	5,144	5,039	4,932	4,823	4,714	4,605	4,495	4,386	4,277	4,168	4,060	3,954
0,20	5,506	5,400	5,291	5,179	5,067	4,953	4,838	4,723	4,607	4,492	4,378	4,264	4,151	4,040	3,930
0,30	5,601	5,480	5,357	5,232	5,106	4,980	4,854	4,728	4,603	4,478	4,355	4,234	4,115	3,997	3,882
0,40	5,725	5,580	5,435	5,289	5,143	4,999	4,855	4,714	4,575	4,438	4,304	4,173	4,044	3,919	3,797
0,50	5,355	5,676	5,498	5,322	5,149	4,980	4,815	4,654	4,497	4,345	4,198	4,056	3,918	3,785	3,657
0,55	5,909	5,706	5,508	5,314	5,125	4,941	4,764	4,592	4,427	4,267	4,114	3,966	3,825	3,689	3,558
0,60	5,939	5,711	5,489	5,275	5,069	4,871	4,681	4,499	4,325	4,159	4,001	3,850	3,705	3,568	3,437
0,65	5,929	5,672	5,426	5,191	4,968	4,756	4,556	4,365	4,185	4,015	3,853	3,700	3,556	3,418	3,288
0,70	5,853	5,566	5,297	5,044	4,807	4,584	4,376	4,181	3,998	3,827	3,665	3,514	3,371	3,237	3,111
0,75	5,674	5,363	5,076	4,810	4,566	4,339	4,130	3,936	3,756	3,588	3,432	3,286	3,150	3,022	2,903
0,80	5,350	5,027	4,735	4,470	4,229	4,009	3,808	3,623	3,453	3,296	3,151	3,016	2,891	2,774	2,665
0,85	4,832	4,527	4,252	4,006	3,785	3,576	3,405	3,240	3,090	2,952	2,824	2,706	2,597	2,495	2,400
0,90	4,412	4,351	3,622	3,419	3,238	3,076	2,929	2,796	2,674	2,562	2,458	2,363	2,274	2,191	2,114
0,95	3,199	3,025	2,871	2,734	2,611	2,500	2,399	2,306	2,220	2,141	2,067	1,998	1,933	1,872	1,814
1,00	2,183	2,119	2,059	2,002	1,947	1,895	1,845	1,798	1,752	1,708	1,666	1,625	1,586	1,548	1,511
1,05	1,193	1,237	1,288	1,288	1,300	1,306	1,306	1,303	1,296	1,287	1,276	1,262	1,248	1,233	1,216
1,10	0,350	0,474	0,574	0,655	0,721	0,774	0,817	0,857	0,898	0,933	0,962	0,985	0,999	0,999	0,999
1,15	-0,282	-0,115	0,024	0,143	0,243	0,328	0,400	0,461	0,513	0,556	0,593	0,623	0,649	0,670	0,687
1,20	-0,702	-0,525	-0,371	-0,237	-0,121	-0,019	0,069	0,146	0,213	0,271	0,322	0,366	0,404	0,437	0,466
1,25	-0,946	-0,780	-0,631	-0,498	-0,379	-0,274	-0,180	-0,096	-0,021	0,044	0,103	0,155	0,201	0,242	0,278
1,30	-1,064	-0,918	-0,784	-0,661	-0,549	-0,448	-0,356	-0,272	-0,197	-0,128	-0,067	-0,011	0,038	0,083	0,124
1,35	-1,099	-0,975	-0,859	-0,751	-0,651	-0,558	-0,472	-0,394	-0,321	-0,255	-0,194	-0,138	-0,087	-0,041	0,0009
1,40	-1,082	-0,980	-0,882	-0,789	-0,702	-0,620	-0,543	-0,471	-0,405	-0,343	-0,285	-0,232	-0,182	-0,137	-0,095
1,45	-1,037	-0,953	-0,871	-0,793	-0,718	-0,647	-0,580	-0,516	-0,456	-0,400	-0,347	-0,297	-0,251	-0,207	-0,167
1,50	-0,977	-0,908	-0,841	-0,775	-0,712	-0,651	-0,593	-0,537	-0,484	-0,434	-0,386	-0,341	-0,298	-0,258	-0,220
1,60	-0,844	-0,798	-0,752	-0,707	-0,662	-0,618	-0,575	-0,534	-0,493	-0,454	-0,417	-0,381	-0,346	-0,313	-0,281
1,70	-0,718	-0,687	-0,655	-0,623	-0,592	-0,560	-0,529	-0,499	-0,469	-0,439	-0,410	-0,382	-0,355	-0,328	-0,302
1,80	-0,609	-0,587	-0,565	-0,543	-0,520	-0,497	-0,475	-0,452	-0,430	-0,406	-0,386	-0,364	-0,343	-0,322	-0,302
1,90	-0,518	-0,502	-0,485	-0,470	-0,454	-0,437	-0,421	-0,404	-0,387	-0,370	-0,354	-0,337	-0,321	-0,304	-0,288
2,00	-0,442	-0,431	-0,420	-0,408	-0,396	-0,383	-0,371	-0,358	-0,346	-0,333	-0,320	-0,307	-0,294	-0,282	-0,269
2,10	-0,380	-0,372	-0,363	-0,354	-0,345	-0,336	-0,327	-0,317	-0,307	-0,297	-0,288	-0,278	-0,268	-0,258	-0,248
2,20	-0,320	-0,322	-0,316	-0,309	-0,302	-0,295	-0,288	-0,281	-0,273	-0,265	-0,258	-0,250	-0,242	-0,234	-0,226
2,30	-0,266	-0,281	-0,276	-0,271	-0,266	-0,260	-0,254	-0,249	-0,243	-0,237	-0,231	-0,225	-0,218	-0,212	-0,206
2,40	-0,250	-0,246	-0,242	-0,238	-0,234	-0,230	-0,225	-0,221	-0,216	-0,211	-0,207	-0,202	-0,197	-0,192	-0,187
2,50	-0,220	-0,217	-0,214	-0,211	-0,207	-0,204	-0,200	-0,197	-0,193	-0,189	-0,185	-0,181	-0,177	-0,173	-0,169
3,00	-0,124	-0,123	-0,122	-0,121	-0,120	-0,118	-0,117	-0,116	-0,114	-0,113	-0,111	-0,110	-0,108	-0,107	-0,105

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
БИБЛИОТЕКА

Таблица 3.

$$\frac{H_z R_z}{10 J} = f\left(\frac{C_z}{R_z}, \frac{z}{R_z}\right)$$

$\frac{z}{R_z} \backslash \frac{C_z}{R_z}$	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,9
0	3,857	3,754	3,652	3,552	3,454	3,358	3,263	3,170	3,080	2,991	2,905	2,820	2,738	2,658	2,580
0,10	3,849	3,745	3,642	3,542	3,443	3,346	3,251	3,158	3,067	2,978	2,891	2,807	2,725	2,644	2,566
0,20	3,821	3,715	3,610	3,508	3,407	3,309	3,212	3,118	3,027	2,937	2,851	2,766	2,684	2,604	2,526
0,30	3,769	3,658	3,550	3,444	3,341	3,241	3,143	3,048	2,956	2,866	2,779	2,695	2,613	2,533	2,456
0,40	3,679	3,563	3,451	3,343	3,237	3,135	3,036	2,941	2,848	2,759	2,672	2,589	2,508	2,430	2,354
0,50	3,533	3,414	3,300	3,189	3,083	2,981	2,882	2,787	2,696	2,609	2,524	2,443	2,365	2,290	2,218
0,55	3,433	3,314	3,199	3,088	2,983	2,881	2,784	2,691	2,602	2,516	2,434	2,355	2,279	2,206	2,136
0,60	3,311	3,192	3,078	2,969	2,865	2,766	2,671	2,580	2,494	2,411	2,331	2,255	2,182	2,112	2,045
0,65	3,165	3,047	2,936	2,830	2,729	2,633	2,542	2,455	2,372	2,292	2,217	2,144	2,075	2,008	1,945
0,70	2,991	2,878	2,772	2,670	2,575	2,484	2,397	2,315	2,236	2,162	2,091	2,023	1,959	1,898	1,836
0,75	2,790	2,684	2,585	2,490	2,401	2,317	2,237	2,161	2,088	2,020	1,954	1,891	1,832	1,775	1,720
0,80	2,583	2,487	2,396	2,309	2,226	2,144	2,062	1,994	1,929	1,867	1,808	1,752	1,698	1,647	1,597
0,85	2,311	2,228	2,149	2,075	2,005	1,939	1,876	1,817	1,760	1,706	1,654	1,605	1,558	1,513	1,470
0,90	2,041	1,973	1,910	1,847	1,789	1,734	1,682	1,632	1,585	1,539	1,496	1,454	1,414	1,376	1,339
0,95	1,760	1,708	1,659	1,612	1,567	1,524	1,483	1,444	1,406	1,369	1,334	1,301	1,268	1,237	1,206
1,00	1,476	1,441	1,408	1,376	1,345	1,314	1,284	1,256	1,228	1,200	1,174	1,148	1,123	1,099	1,075
1,05	1,199	1,182	1,164	1,146	1,127	1,110	1,090	1,072	1,053	1,035	1,017	0,999	0,981	0,963	0,946
1,10	0,938	0,936	0,932	0,927	0,921	0,913	0,905	0,896	0,887	0,877	0,866	0,855	0,844	0,833	0,821
1,15	0,708	0,711	0,719	0,725	0,729	0,732	0,734	0,732	0,730	0,728	0,724	0,720	0,715	0,710	0,704
1,20	0,490	0,511	0,529	0,544	0,557	0,567	0,576	0,582	0,587	0,591	0,593	0,595	0,595	0,595	0,593
1,25	0,310	0,338	0,363	0,385	0,404	0,421	0,435	0,447	0,458	0,467	0,474	0,480	0,485	0,489	0,492
1,30	0,160	0,193	0,223	0,249	0,273	0,294	0,313	0,329	0,343	0,356	0,368	0,377	0,386	0,393	0,400
1,35	0,039	0,074	0,106	0,135	0,162	0,185	0,208	0,227	0,244	0,260	0,274	0,287	0,298	0,308	0,317
1,40	-0,056	-0,020	0,012	0,042	0,070	0,095	0,118	0,140	0,159	0,177	0,193	0,208	0,221	0,233	0,244
1,45	-0,129	-0,094	-0,062	-0,032	-0,004	0,023	0,045	0,067	0,088	0,107	0,124	0,140	0,154	0,168	0,180
1,50	-0,184	-0,157	-0,113	-0,090	-0,061	-0,037	-0,015	0,008	0,028	0,048	0,066	0,082	0,097	0,112	0,125
1,60	-0,251	-0,222	-0,193	-0,169	-0,144	-0,120	-0,098	-0,077	-0,058	-0,039	-0,022	-0,005	0,009	0,024	0,038
1,70	-0,278	-0,254	-0,231	-0,209	-0,188	-0,168	-0,148	-0,130	-0,112	-0,095	-0,079	-0,064	-0,049	-0,036	-0,023
1,80	-0,282	-0,263	-0,244	-0,226	-0,208	-0,191	-0,175	-0,159	-0,143	-0,129	-0,114	-0,101	-0,088	-0,075	-0,063
1,90	-0,273	-0,257	-0,242	-0,227	-0,213	-0,199	-0,185	-0,172	-0,159	-0,146	-0,134	-0,122	-0,111	-0,100	-0,089
2,00	-0,257	-0,244	-0,232	-0,220	-0,209	-0,197	-0,186	-0,175	-0,164	-0,153	-0,143	-0,133	-0,123	-0,114	-0,105
2,10	-0,238	-0,228	-0,218	-0,209	-0,199	-0,190	-0,181	-0,171	-0,162	-0,154	-0,145	-0,136	-0,128	-0,120	-0,112
2,20	-0,218	-0,211	-0,203	-0,195	-0,187	-0,180	-0,172	-0,164	-0,157	-0,150	-0,142	-0,135	-0,128	-0,121	-0,115
2,30	-0,199	-0,193	-0,187	-0,181	-0,174	-0,168	-0,162	-0,155	-0,149	-0,143	-0,137	-0,131	-0,125	-0,120	-0,114
2,40	-0,182	-0,177	-0,171	-0,166	-0,161	-0,156	-0,151	-0,146	-0,141	-0,135	-0,130	-0,125	-0,120	-0,116	-0,111
2,50	-0,165	-0,161	-0,157	-0,153	-0,148	-0,144	-0,140	-0,136	-0,131	-0,127	-0,123	-0,119	-0,115	-0,110	-0,106
3,00	-0,104	-0,102	-0,100	-0,099	-0,097	-0,095	-0,093	-0,092	-0,090	-0,088	-0,086	-0,084	-0,083	-0,082	-0,081

Таблица 4.

$$\frac{H_2 R}{70 J} = f\left(\frac{z}{R}, \frac{r}{R}\right)$$

$\frac{z}{R}$ \ $\frac{r}{R}$	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
0	2,504	2,430	2,358	2,286	2,221	2,060	1,912	1,775	1,648	1,531	1,424	1,325	1,233	1,149	1,072
0,10	2,491	2,417	2,345	2,276	2,208	2,049	1,901	1,764	1,638	1,522	1,415	1,317	1,226	1,143	1,066
0,20	2,450	2,377	2,306	2,237	2,170	2,012	1,867	1,732	1,608	1,495	1,390	1,293	1,205	1,123	1,048
0,30	2,382	2,309	2,239	2,172	2,106	1,952	1,810	1,679	1,559	1,449	1,348	1,255	1,169	1,090	1,018
0,40	2,282	2,211	2,143	2,078	2,015	1,866	1,730	1,605	1,491	1,385	1,290	1,201	1,120	1,046	0,977
0,50	2,148	2,081	2,017	1,955	1,895	1,755	1,627	1,510	1,404	1,306	1,217	1,135	1,059	0,990	0,926
0,55	2,069	2,004	1,942	1,882	1,824	1,690	1,567	1,456	1,354	1,260	1,175	1,097	1,024	0,958	0,897
0,60	1,980	1,919	1,859	1,802	1,747	1,619	1,503	1,397	1,300	1,211	1,130	1,056	0,987	0,924	0,866
0,65	1,884	1,825	1,769	1,715	1,664	1,543	1,433	1,333	1,242	1,159	1,083	1,012	0,948	0,888	0,834
0,70	1,779	1,725	1,672	1,622	1,574	1,462	1,360	1,267	1,182	1,104	1,032	0,967	0,907	0,851	0,799
0,75	1,668	1,618	1,570	1,524	1,479	1,376	1,282	1,196	1,118	1,046	0,980	0,920	0,863	0,812	0,764
0,80	1,550	1,505	1,462	1,420	1,380	1,287	1,202	1,124	1,053	0,987	0,927	0,871	0,819	0,771	0,727
0,85	1,428	1,389	1,350	1,313	1,278	1,195	1,119	1,049	0,985	0,926	0,871	0,821	0,774	0,730	0,689
0,90	1,303	1,269	1,236	1,204	1,174	1,102	1,035	0,974	0,917	0,865	0,816	0,770	0,728	0,688	0,651
0,95	1,177	1,149	1,121	1,095	1,069	1,008	0,951	0,898	0,849	0,803	0,760	0,719	0,682	0,646	0,613
1,00	1,052	1,029	1,007	0,985	0,964	0,914	0,867	0,822	0,780	0,741	0,704	0,669	0,635	0,604	0,575
1,05	0,929	0,912	0,895	0,878	0,862	0,822	0,784	0,748	0,713	0,680	0,648	0,618	0,590	0,563	0,537
1,10	0,810	0,798	0,786	0,775	0,763	0,733	0,704	0,675	0,648	0,621	0,594	0,569	0,545	0,521	0,499
1,15	0,697	0,690	0,683	0,675	0,668	0,648	0,627	0,606	0,584	0,563	0,542	0,521	0,501	0,481	0,462
1,20	0,591	0,589	0,586	0,582	0,578	0,567	0,553	0,539	0,523	0,507	0,491	0,475	0,458	0,442	0,426
1,25	0,494	0,485	0,485	0,485	0,485	0,494	0,490	0,484	0,475	0,465	0,454	0,442	0,430	0,417	0,405
1,30	0,405	0,409	0,413	0,415	0,417	0,420	0,419	0,416	0,411	0,404	0,396	0,388	0,378	0,368	0,358
1,35	0,325	0,332	0,337	0,343	0,347	0,355	0,359	0,361	0,360	0,357	0,353	0,347	0,341	0,334	0,326
1,40	0,254	0,262	0,270	0,277	0,283	0,296	0,304	0,309	0,312	0,313	0,312	0,309	0,306	0,301	0,296
1,45	0,191	0,201	0,210	0,219	0,226	0,242	0,254	0,263	0,269	0,272	0,274	0,274	0,273	0,270	0,267
1,50	0,137	0,148	0,158	0,168	0,176	0,195	0,209	0,220	0,229	0,235	0,239	0,241	0,242	0,241	0,240
1,60	0,050	0,062	0,073	0,084	0,094	0,115	0,133	0,148	0,160	0,169	0,177	0,182	0,186	0,189	0,191
1,70	-0,010	-0,001	0,012	0,022	0,032	0,054	0,074	0,090	0,104	0,116	0,125	0,133	0,140	0,145	0,148
1,80	-0,032	-0,041	-0,031	-0,021	-0,011	0,010	0,029	0,046	0,060	0,073	0,084	0,093	0,101	0,107	0,112
1,90	-0,079	-0,069	-0,060	-0,051	-0,042	-0,022	-0,003	-0,012	-0,026	-0,039	-0,050	-0,060	-0,069	-0,076	-0,082
2,00	-0,095	-0,087	-0,079	-0,070	-0,063	-0,044	-0,027	-0,012	-0,001	0,013	0,024	0,034	0,043	0,051	0,057
2,10	-0,105	-0,097	-0,090	-0,083	-0,076	-0,059	-0,044	-0,030	-0,017	-0,006	0,004	0,014	0,022	0,030	0,037
2,20	-0,108	-0,102	-0,095	-0,089	-0,083	-0,069	-0,055	-0,043	-0,031	-0,020	-0,010	-0,001	0,006	0,014	0,021
2,30	-0,108	-0,103	-0,097	-0,092	-0,087	-0,074	-0,062	-0,051	-0,040	-0,031	-0,021	-0,013	-0,005	0,001	0,008
2,40	-0,106	-0,101	-0,097	-0,092	-0,087	-0,077	-0,066	-0,056	-0,047	-0,038	-0,030	-0,022	-0,015	-0,008	-0,002
2,50	-0,102	-0,098	-0,094	-0,090	-0,086	-0,077	-0,068	-0,059	-0,051	-0,043	-0,035	-0,028	-0,022	-0,015	-0,010
3,00	-0,077	-0,075	-0,073	-0,071	-0,070	-0,065	-0,060	-0,056	-0,052	-0,047	-0,043	-0,039	-0,035	-0,031	-0,028

Таблица 5.

$$\frac{H_z R_0}{700 I} = f\left(\frac{r}{R_0}, \frac{z}{R_0}\right)$$

$\frac{z}{R_0}$ $\frac{r}{R_0}$	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50
0	10,011	9,354	8,748	8,189	7,673	7,196	6,755	6,347	5,970	5,619	4,993	4,452	3,982	3,574	3,218
0,10	9,955	9,303	8,701	8,147	7,634	7,160	6,723	6,317	5,942	5,594	4,972	4,433	3,967	3,562	3,207
0,20	9,789	9,150	8,562	8,019	7,517	7,054	6,625	6,228	5,860	5,519	4,909	4,380	3,922	3,523	3,174
0,30	9,516	8,901	8,334	7,810	7,327	6,879	6,464	6,081	5,726	5,396	4,805	4,293	3,848	3,460	3,120
0,40	9,142	8,560	8,021	7,524	7,065	6,640	6,246	5,881	5,542	5,228	4,663	4,173	3,746	3,373	3,047
0,50	8,677	8,135	7,633	7,170	6,741	6,343	5,975	5,632	5,314	5,018	4,466	4,023	3,619	3,266	2,954
0,55	8,414	7,894	7,414	6,970	6,557	6,175	5,821	5,492	5,185	4,900	4,386	3,939	3,547	3,204	2,902
0,60	8,132	7,637	7,179	6,755	6,361	5,996	5,657	5,341	5,048	4,773	4,260	3,848	3,476	3,139	2,847
0,65	7,834	7,365	6,931	6,528	6,154	5,806	5,483	5,182	4,901	4,639	4,166	3,752	3,388	3,063	2,786
0,70	7,521	7,080	6,671	6,290	5,936	5,608	5,301	5,015	4,748	4,498	4,047	3,651	3,303	2,995	2,722
0,75	7,187	6,783	6,399	6,043	5,710	5,401	5,111	4,841	4,588	4,351	3,924	3,545	3,213	2,917	2,656
0,80	6,862	6,479	6,121	5,788	5,477	5,187	4,915	4,661	4,423	4,200	3,794	3,436	3,119	2,838	2,587
0,85	6,519	6,166	5,836	5,527	5,238	4,968	4,715	4,477	4,253	4,044	3,661	3,323	3,022	2,755	2,516
0,90	6,173	5,849	5,546	5,262	4,995	4,745	4,510	4,289	4,080	3,885	3,526	3,207	2,923	2,669	2,443
0,95	5,822	5,529	5,253	4,994	4,750	4,520	4,302	4,098	3,905	3,722	3,388	3,090	2,822	2,583	2,368
1,00	5,472	5,209	4,960	4,725	4,503	4,293	4,094	3,906	3,728	3,559	3,249	2,970	2,719	2,494	2,291
1,05	5,124	4,890	4,668	4,457	4,256	4,066	3,885	3,713	3,550	3,395	3,108	2,850	2,616	2,405	2,213
1,10	4,780	4,575	4,378	4,191	4,011	3,840	3,677	3,521	3,373	3,231	2,968	2,729	2,512	2,314	2,135
1,15	4,431	4,246	4,073	3,928	3,789	3,616	3,470	3,330	3,196	3,068	2,827	2,607	2,407	2,224	2,056
1,20	4,113	3,961	3,813	3,670	3,531	3,397	3,267	3,142	3,022	2,906	2,688	2,487	2,303	2,133	1,977
1,25	3,793	3,666	3,541	3,418	3,298	3,181	3,067	2,957	2,850	2,747	2,550	2,367	2,199	2,042	1,898
1,30	3,485	3,381	3,273	3,174	3,071	2,971	2,872	2,775	2,681	2,590	2,414	2,250	2,096	1,952	1,819
1,35	3,189	3,106	3,022	2,937	2,852	2,767	2,682	2,599	2,516	2,436	2,281	2,133	1,994	1,864	1,741
1,40	2,906	2,843	2,777	2,709	2,640	2,589	2,498	2,427	2,357	2,287	2,150	2,019	1,894	1,775	1,664
1,45	2,638	2,593	2,544	2,491	2,436	2,379	2,320	2,261	2,201	2,141	2,023	1,909	1,796	1,689	1,588
1,50	2,384	2,355	2,321	2,283	2,241	2,196	2,150	2,101	2,051	2,001	1,909	1,799	1,700	1,605	1,513
1,60	1,921	1,920	1,912	1,898	1,879	1,856	1,829	1,800	1,786	1,735	1,664	1,590	1,515	1,441	1,367
1,70	1,519	1,531	1,550	1,555	1,553	1,529	1,539	1,526	1,509	1,490	1,445	1,395	1,342	1,285	1,228
1,80	1,173	1,208	1,235	1,254	1,268	1,276	1,280	1,279	1,275	1,268	1,246	1,215	1,179	1,139	1,098
1,90	0,881	0,926	0,963	0,994	1,018	1,037	1,050	1,060	1,066	1,068	1,064	1,050	1,030	1,004	0,974
2,00	0,638	0,689	0,733	0,771	0,802	0,829	0,850	0,867	0,880	0,890	0,900	0,900	0,893	0,879	0,861
2,10	0,437	0,491	0,539	0,581	0,618	0,649	0,676	0,699	0,717	0,733	0,754	0,765	0,768	0,765	0,756
2,20	0,273	0,329	0,378	0,422	0,462	0,496	0,526	0,553	0,576	0,595	0,625	0,645	0,656	0,661	0,659
2,30	0,141	0,196	0,245	0,290	0,331	0,367	0,399	0,428	0,453	0,476	0,512	0,538	0,556	0,567	0,572
2,40	0,036	0,088	0,137	0,181	0,222	0,253	0,282	0,322	0,348	0,372	0,413	0,443	0,466	0,482	0,493
2,50	-0,047	0,003	0,049	0,092	0,132	0,168	0,201	0,231	0,259	0,284	0,326	0,360	0,387	0,407	0,421
3,00	-0,244	-0,210	-0,178	-0,146	-0,117	-0,089	-0,062	-0,037	-0,013	0,004	0,049	0,085	0,116	0,143	0,165

Таблица 8. $\frac{H_z R}{100 I} - f\left(\frac{z}{R}, \frac{z}{z_0}\right)$
0,01

$\frac{z}{R}$ $\frac{r}{R}$	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00	3,10	3,20	3,30	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80	3,90	4,00
0	2,906	2,632	2,390	2,176	1,986	1,818	1,667	1,532	1,411	1,302	1,204	1,115	1,035	0,962	0,896
0,10	2,897	2,624	2,383	2,170	1,981	1,813	1,663	1,529	1,408	1,299	1,202	1,113	1,033	0,960	0,894
0,20	2,869	2,600	2,362	2,152	1,966	1,800	1,651	1,518	1,399	1,292	1,195	1,107	1,028	0,956	0,890
0,30	2,822	2,560	2,328	2,123	1,940	1,777	1,632	1,501	1,384	1,278	1,183	1,097	1,019	0,948	0,883
0,40	2,759	2,506	2,281	2,082	1,904	1,747	1,605	1,478	1,363	1,260	1,167	1,083	1,006	0,937	0,873
0,50	2,680	2,438	2,222	2,031	1,861	1,709	1,571	1,448	1,337	1,237	1,147	1,065	0,990	0,922	0,860
0,55	2,635	2,399	2,180	2,002	1,835	1,686	1,552	1,431	1,322	1,224	1,135	1,055	0,981	0,914	0,853
0,60	2,587	2,357	2,153	1,977	1,808	1,662	1,531	1,413	1,306	1,210	1,123	1,043	0,971	0,905	0,845
0,65	2,535	2,313	2,114	1,937	1,779	1,637	1,509	1,393	1,289	1,195	1,109	1,031	0,960	0,895	0,836
0,70	2,481	2,266	2,074	1,902	1,748	1,610	1,485	1,372	1,271	1,178	1,095	1,018	0,949	0,885	0,828
0,75	2,424	2,217	2,031	1,865	1,716	1,581	1,460	1,351	1,251	1,161	1,079	1,005	0,937	0,875	0,818
0,80	2,364	2,165	1,986	1,826	1,682	1,552	1,434	1,328	1,231	1,143	1,064	0,991	0,924	0,863	0,808
0,85	2,303	2,111	1,940	1,786	1,646	1,521	1,407	1,304	1,210	1,125	1,048	0,976	0,911	0,852	0,797
0,90	2,239	2,056	1,892	1,743	1,610	1,489	1,379	1,279	1,188	1,105	1,030	0,960	0,897	0,839	0,786
0,95	2,174	2,000	1,842	1,701	1,572	1,455	1,349	1,253	1,165	1,085	1,011	0,944	0,883	0,826	0,774
1,00	2,108	1,942	1,792	1,658	1,533	1,421	1,319	1,226	1,142	1,064	0,993	0,928	0,868	0,813	0,762
1,05	2,040	1,883	1,741	1,611	1,494	1,386	1,289	1,199	1,117	1,042	0,974	0,910	0,853	0,799	0,750
1,10	1,972	1,824	1,689	1,566	1,453	1,351	1,257	1,171	1,093	1,020	0,954	0,893	0,837	0,785	0,737
1,15	1,903	1,763	1,636	1,519	1,412	1,315	1,225	1,143	1,067	0,998	0,934	0,875	0,821	0,771	0,725
1,20	1,834	1,703	1,583	1,473	1,371	1,278	1,193	1,114	1,042	0,975	0,914	0,857	0,805	0,756	0,711
1,25	1,765	1,642	1,529	1,425	1,330	1,241	1,160	1,085	1,016	0,952	0,893	0,838	0,788	0,741	0,697
1,30	1,696	1,582	1,476	1,378	1,288	1,204	1,127	1,056	0,990	0,928	0,872	0,819	0,771	0,726	0,684
1,35	1,627	1,521	1,422	1,331	1,246	1,167	1,094	1,026	0,963	0,905	0,851	0,800	0,754	0,710	0,670
1,40	1,559	1,461	1,369	1,284	1,204	1,130	1,061	0,996	0,936	0,881	0,829	0,781	0,736	0,694	0,656
1,45	1,492	1,401	1,317	1,237	1,162	1,092	1,028	0,967	0,910	0,857	0,808	0,762	0,719	0,679	0,641
1,50	1,426	1,343	1,264	1,190	1,121	1,056	0,994	0,937	0,883	0,833	0,786	0,742	0,701	0,663	0,627
1,60	1,296	1,227	1,151	1,098	1,038	0,982	0,928	0,878	0,830	0,785	0,743	0,703	0,665	0,631	0,596
1,70	1,172	1,116	1,062	1,009	0,953	0,900	0,863	0,819	0,777	0,737	0,699	0,664	0,630	0,598	0,560
1,80	1,054	1,010	0,966	0,923	0,880	0,840	0,800	0,761	0,725	0,690	0,657	0,625	0,595	0,566	0,539
1,90	0,943	0,909	0,875	0,841	0,806	0,772	0,738	0,706	0,674	0,644	0,615	0,587	0,560	0,534	0,510
2,00	0,839	0,815	0,789	0,762	0,735	0,707	0,679	0,652	0,625	0,599	0,574	0,549	0,526	0,503	0,481
2,10	0,743	0,727	0,709	0,688	0,667	0,645	0,623	0,600	0,578	0,555	0,534	0,513	0,492	0,472	0,453
2,20	0,654	0,645	0,633	0,610	0,603	0,586	0,569	0,551	0,532	0,514	0,496	0,477	0,460	0,442	0,425
2,30	0,572	0,569	0,563	0,554	0,543	0,531	0,518	0,504	0,489	0,474	0,458	0,443	0,428	0,413	0,398
2,40	0,498	0,500	0,498	0,494	0,488	0,479	0,470	0,459	0,448	0,436	0,423	0,411	0,398	0,385	0,372
2,50	0,431	0,437	0,439	0,438	0,436	0,431	0,425	0,417	0,409	0,399	0,390	0,379	0,369	0,358	0,347
3,00	0,184	0,200	0,213	0,224	0,232	0,236	0,243	0,246	0,247	0,248	0,247	0,245	0,243	0,240	0,237

Таблица 7.

$$\frac{H_2 R}{70000} = f\left(\frac{L}{R}, \frac{z}{R}\right)$$

0,001

$\frac{z}{R}$ $\frac{r}{R}$	4,10	4,20	4,30	4,40	4,50	4,60	4,70	4,80	4,90	5,00	5,10	5,20	5,30	5,40	5,50
0	8,359	7,807	7,302	6,839	6,414	6,023	5,662	5,330	5,023	4,739	4,476	4,231	4,004	3,793	3,596
0,10	8,344	7,793	7,291	6,830	6,407	6,017	5,658	5,326	5,019	4,735	4,471	4,226	3,999	3,788	3,592
0,20	8,307	7,760	7,259	6,801	6,380	5,992	5,634	5,306	5,000	4,717	4,455	4,212	3,988	3,779	3,582
0,30	8,241	7,701	7,209	6,735	6,336	5,954	5,602	5,274	4,972	4,693	4,433	4,192	3,968	3,760	3,567
0,40	8,154	7,622	7,135	6,691	6,280	5,900	5,551	5,229	4,931	4,658	4,401	4,161	3,940	3,737	3,545
0,50	8,054	7,521	7,046	6,609	6,204	5,835	5,492	5,175	4,883	4,612	4,359	4,123	3,905	3,703	3,514
0,55	7,974	7,461	6,992	6,560	6,164	5,797	5,456	5,143	4,854	4,584	4,335	4,104	3,888	3,685	3,496
0,60	7,904	7,396	6,936	6,508	6,115	5,753	5,420	5,110	4,822	4,556	4,309	4,079	3,864	3,660	3,480
0,65	7,825	7,328	6,873	6,451	6,067	5,707	5,377	5,072	4,790	4,527	4,281	4,053	3,842	3,644	3,459
0,70	7,744	7,258	6,805	6,393	6,011	5,658	5,334	5,031	4,759	4,492	4,252	4,027	3,816	3,620	3,439
0,75	7,659	7,178	6,737	6,330	5,953	5,608	5,285	4,989	4,713	4,456	4,218	3,997	3,791	3,597	3,415
0,80	7,567	7,097	6,664	6,262	5,896	5,551	5,237	4,943	4,671	4,421	4,184	3,965	3,760	3,571	3,393
0,85	7,473	7,010	6,586	6,195	5,830	5,496	5,184	4,895	4,630	4,381	4,148	3,932	3,730	3,542	3,366
0,90	7,372	6,922	6,505	6,120	5,765	5,435	5,130	4,848	4,582	4,339	4,110	3,896	3,700	3,513	3,339
0,95	7,269	6,828	6,421	6,045	5,696	5,373	5,074	4,794	4,538	4,294	4,070	3,862	3,665	3,483	3,312
1,00	7,162	6,731	6,334	5,965	5,625	5,307	5,014	4,743	4,486	4,251	4,029	3,822	3,632	3,450	3,281
1,05	7,050	6,632	6,243	5,884	5,549	5,241	4,952	4,685	4,438	4,203	3,987	3,785	3,594	3,418	3,252
1,10	6,936	6,527	6,150	5,799	5,474	5,170	4,890	4,627	4,383	4,157	3,942	3,744	3,559	3,382	3,220
1,15	6,820	6,422	6,053	5,712	5,394	5,100	4,824	4,569	4,328	4,106	3,898	3,702	3,519	3,350	3,187
1,20	6,701	6,314	5,955	5,623	5,314	5,026	4,758	4,506	4,274	4,054	3,851	3,650	3,480	3,311	3,156
1,25	6,576	6,205	5,856	5,531	5,231	4,950	4,689	4,445	4,215	4,003	3,801	3,615	3,440	3,275	3,119
1,30	6,451	6,090	5,755	5,439	5,145	4,874	4,618	4,381	4,157	3,948	3,754	3,569	3,398	3,237	3,085
1,35	6,326	5,974	5,650	5,336	5,060	4,794	4,547	4,314	4,098	3,893	3,702	3,524	3,354	3,197	3,049
1,40	6,199	5,860	5,542	5,250	4,974	4,714	4,473	4,248	4,035	3,838	3,651	3,476	3,312	3,156	3,011
1,45	6,068	5,740	5,436	5,150	4,886	4,634	4,399	4,179	3,974	3,779	3,600	3,427	3,267	3,116	2,973
1,50	5,937	5,625	5,327	5,051	4,794	4,553	4,324	4,110	3,910	3,723	3,545	3,380	3,227	3,074	2,935
1,60	5,673	5,381	5,110	4,851	4,610	4,383	4,173	3,971	3,781	3,603	3,437	3,277	3,129	2,989	2,855
1,70	5,403	5,139	4,886	4,649	4,426	4,215	4,013	3,828	3,651	3,482	3,323	3,175	3,034	2,900	2,775
1,80	5,139	4,892	4,663	4,444	4,238	4,043	3,857	3,680	3,516	3,361	3,211	3,069	2,936	2,811	2,690
1,90	4,869	4,652	4,438	4,240	4,049	3,869	3,709	3,555	3,409	3,264	3,097	2,964	2,837	2,718	2,606
2,00	4,608	4,406	4,219	4,034	3,862	3,695	3,538	3,389	3,244	3,107	2,978	2,857	2,739	2,626	2,519
2,10	4,347	4,170	3,996	3,834	3,673	3,524	3,378	3,241	3,110	2,981	2,861	2,746	2,638	2,534	2,433
2,20	4,083	3,934	3,781	3,631	3,491	3,351	3,221	3,094	2,973	2,858	2,744	2,638	2,536	2,440	2,347
2,30	3,845	3,705	3,569	3,435	3,308	3,184	3,063	2,950	2,848	2,732	2,630	2,530	2,435	2,344	2,259
2,40	3,604	3,460	3,361	3,224	3,128	3,020	2,909	2,805	2,705	2,607	2,514	2,424	2,335	2,251	2,170
2,50	3,371	3,264	3,159	3,056	2,955	2,854	2,761	2,664	2,574	2,485	2,400	2,317	2,237	2,159	2,083
3,00	2,339	2,299	2,253	2,206	2,159	2,110	2,061	2,012	1,960	1,912	1,860	1,811	1,763	1,714	1,667

Л и т е р а т у р а

1. J.P.Blewett, Journal of Applied Physics, 18, 968 (1947).
2. И.И.Пеккер. Труды Новочеркасского Политехн. института им. Орджоникидзе, том 43/57, 91 (1956).
3. И.И.Пеккер. Известия Высших Учебных Заведений. Электромеханика, 6, 19 (1958).
4. В.А.Бирюков, В.И.Данилов. ЖТФ, 31, 4, 428 (1961).
5. В.И.Данилов и др. Таблицы функций для расчета магнитных полей. Препринт ОИЯИ Р-702, Дубна 1961.
6. Б.Хэг. Электромагнитные расчеты ГЭИ, Москва, 1934.
7. И.М.Аснин. Расчеты электромагнитных полей изд. ВЭГА, Ленинград 1939 г.
8. Б.И.Сегалл, К.А.Семендяев. Пятизначные математические таблицы. Физматгиз, Москва 1959 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 января 1962 года.