

# Магнитное поле круглого витка с током

$R := 1\text{m}$  - радиус витка

$I := 1\text{A}$  - полный ток

$$H_{\text{circle}} := \frac{I}{2 \cdot R} \quad H_{\text{circle}} = 0.5 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

- напряженность магнитного поля в центре круглого витка с током

$$H_{\text{line}}(r) := \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

- зависимость напряженности магнитного поля, создаваемого бесконечным прямым проводником от расстояния до проводника

$$H_{\text{square}}(b) := \frac{\sqrt{2} \cdot I}{\pi \cdot b} \quad H_{\text{square}}(2 \cdot R) = 0.450158158 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

- напряженность магнитного поля в центре квадратного витка со сторонами b

$$H_{\text{line}}(R) = 0.159154943 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

## Магнитное поле в плоскости витка на расстоянии a от центра витка

$a := R - 0.01R$  - расстояние от центра контура до некоторой точки в плоскости контура

$$H_{\text{loop}}(a) := \frac{I}{4 \cdot \pi \cdot R \cdot \left(1 - \frac{a^2}{R^2}\right)} \int_0^{2 \cdot \pi} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{a}{R}\right)^2 \cdot \sin(x)^2}} dx$$

$$H_{\text{loop}}(0 \cdot \text{m}) = 0.5 \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad H_{\text{loop}}(a) = 16.450955665 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Виток лежит в плоскости (x,y), ось витка совпадает с осью z.

$$H_{\text{loop2}}(a) := \frac{I}{4 \cdot \pi \cdot R} \int_0^{2 \cdot \pi} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{a}{R}\right)^2 \cdot \sin(x)^2 - \frac{a}{R} \cdot \cos(x)}} dx \quad H_{\text{loop2}}(a) = 16.450955665 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$$H_{\text{loop3}}(a) := \frac{I \cdot R}{4 \cdot \pi} \int_0^{2 \cdot \pi} \frac{R - a \cdot \cos(\beta)}{\left(R^2 + a^2 - 2 \cdot R \cdot a \cdot \cos(\beta)\right)^{\frac{3}{2}}} d\beta \quad H_{\text{loop3}}(a) = 16.450590408 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

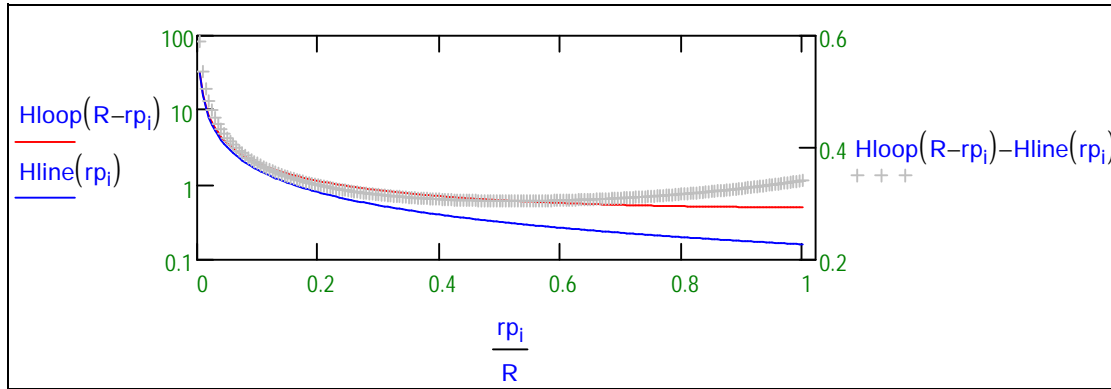
Расчет зависимости магнитного поля витка с током от R-a (расстояния от точки внутри контура до проводника).

Сравнение с зависимостью магнитного поля бесконечного прямого проводника.

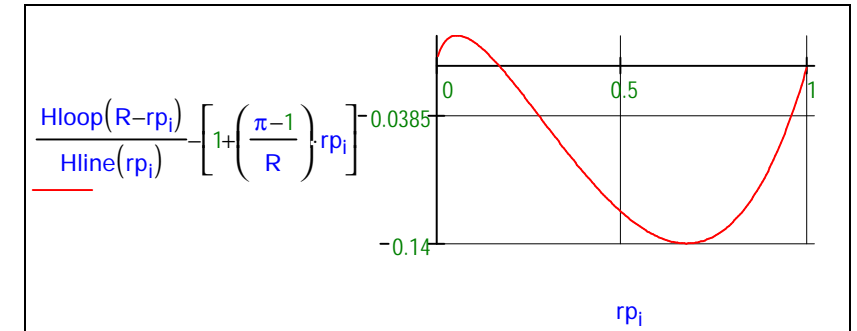
$ab := 0.999 \cdot R$   $ae := 0.005 \cdot R$  - диапазон значений a  $Na := 200$  - размер сетки значений a  $i := 0.. Na - 1$

$ap_i := ab + i \cdot \frac{ae - ab}{Na - 1}$  - сетка значений a  $rp_i := ap_{Na-1-i}$  - сетка значений r

$H_{\text{loopData}_i} := H_{\text{loop}}(ap_i)$   $H_{\text{lineData}_i} := H_{\text{line}}(rp_i)$



Отклонение зависимости отношения  $\frac{H_{loop}(R-r)}{H_{line}(r)}$  от  
линейного закона  $1 + \left(\frac{\pi-1}{R}\right) \cdot r$ :



Как и следовало ожидать  $\lim_{r \rightarrow 0} \frac{H_{loop}(R-r)}{H_{line}(r)} = 1$  и  $\lim_{r \rightarrow R} \frac{H_{loop}(R-r)}{H_{line}(r)} = \pi$

Компоненты магнитного поля витка в плоскости содержащей ось z:

$$H_x(a, z) := \frac{I \cdot R}{4 \cdot \pi} \int_0^{2 \cdot \pi} \frac{z \cdot \cos(\beta)}{\left(z^2 + R^2 + a^2 - 2 \cdot R \cdot a \cdot \cos(\beta)\right)^{\frac{3}{2}}} d\beta$$

$$H_z(a, z) := \frac{I \cdot R}{4 \cdot \pi} \int_0^{2 \cdot \pi} \frac{R - a \cdot \cos(\beta)}{\left(R^2 + a^2 - 2 \cdot R \cdot a \cdot \cos(\beta) + z^2\right)^{\frac{3}{2}}} d\beta$$

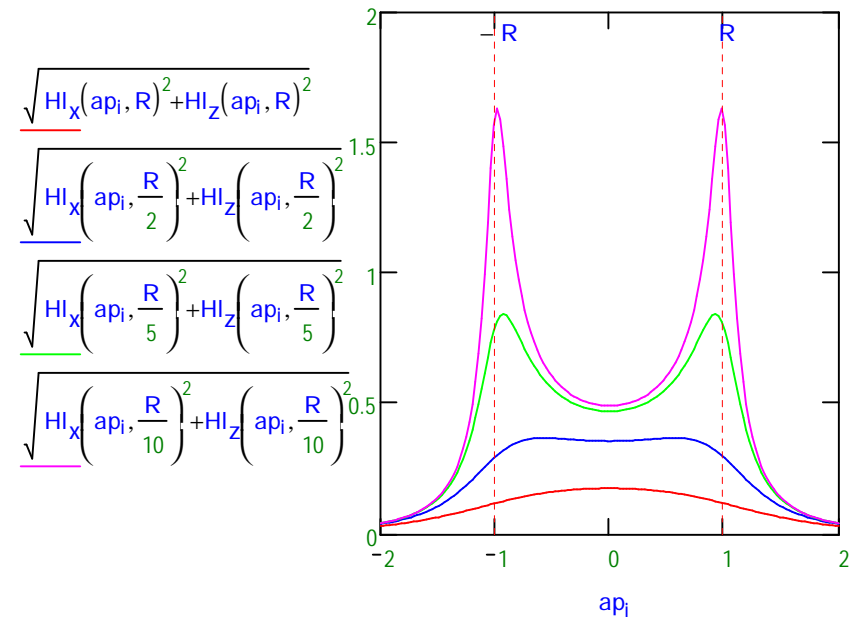
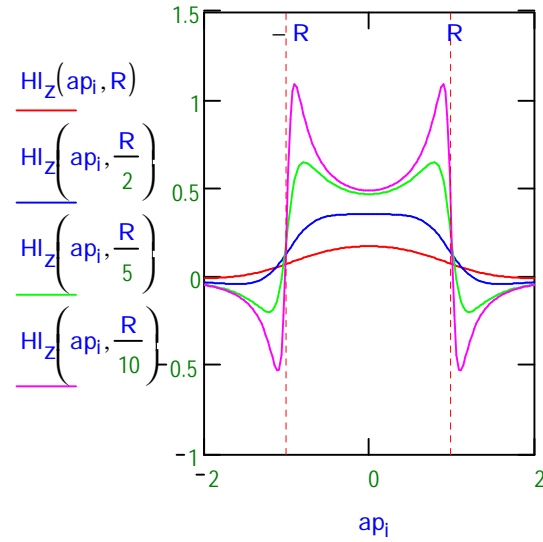
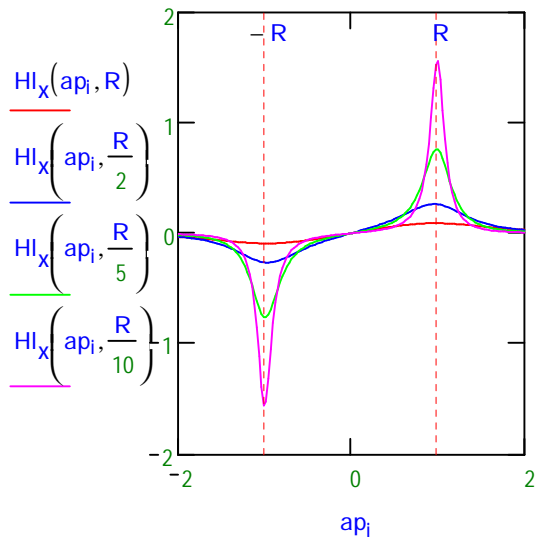
$\underline{ab} := -2 \cdot R$     $\underline{ae} := 2 \cdot R$    - диапазон значений a

$\underline{Na} := 150$    - размер сетки значений a

$i := 0.. Na - 1$

$ap_i := ab + i \cdot \frac{ae - ab}{Na - 1}$

Компоненты магнитного поля витка вдоль прямой, перпендикулярной оси витка на различной высоте от плоскости витка



**Магнитное поле витка в плоскости, проходящей через ось витка**

$ab := -1.5 \cdot R$     $ae := 1.5 \cdot R$    - диапазон значений a

$Na := 90$    - размер сетки значений a

$i := 0 .. Na - 1$

$$ap_i := ab + i \cdot \frac{ae - ab}{Na - 1}$$

$zb := -0.5 \cdot R$     $ze := 0.5 \cdot R$    - диапазон значений z (zb нельзя задавать 0, т.к.  $H_x(R,0) = H_z(R,0) \rightarrow \pm\infty$ )   однако MathCad считает по другому :)

$$H_z(R, 0m) = 1.568994906 \frac{A}{m}$$

$Nz := 90$    - размер сетки значений z

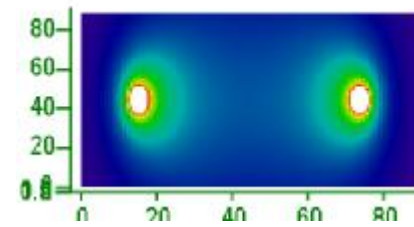
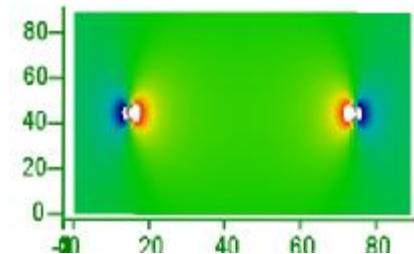
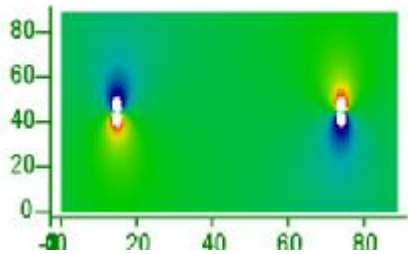
$k := 0 .. Nz - 1$

$$zpk := zb + k \cdot \frac{ze - zb}{Nz - 1}$$

$$gHx_{i,k} := H_x(ap_i, zpk)$$

$$gHz_{i,k} := H_z(ap_i, zpk)$$

$$gHI_{i,k} := \sqrt{(gHx_{i,k})^2 + (gHz_{i,k})^2}$$



gHx

gHz

gHI

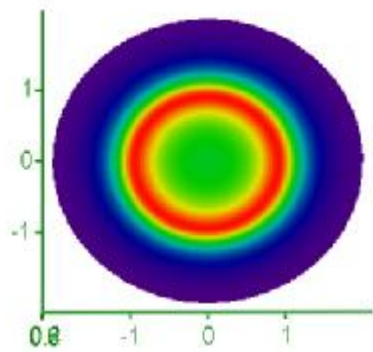
$|H|$  в плоскости, параллельной плоскости витка на расстоянии  $z := \frac{R}{5}$  от нее

xmesh := 100

ymesh := 50

$$\text{SurS}(b, \phi) := \begin{bmatrix} b \cdot \cos(\phi) \\ b \cdot \sin(\phi) \\ \sqrt{\left( H_{I_x}(b \cdot m, z) \cdot \frac{m}{A} \right)^2 + \left( H_{I_z}(b \cdot m, z) \cdot \frac{m}{A} \right)^2} \end{bmatrix}$$

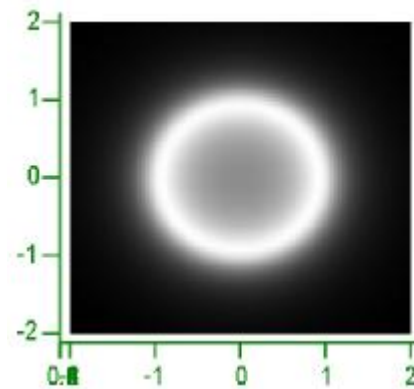
$$\text{Sph} := \text{CreateMesh} \left( \text{SurS}, 0, \frac{2R}{m}, -0.1, 2.1\pi, \text{xmesh}, \text{ymesh} \right)$$



Sph

$$\text{SurD}(x, y) := \begin{bmatrix} x \\ y \\ \sqrt{\left( H_{I_x}(\sqrt{x^2 + y^2} m, z) \cdot \frac{m}{A} \right)^2 + \left( H_{I_z}(\sqrt{x^2 + y^2} m, z) \cdot \frac{m}{A} \right)^2} \end{bmatrix}$$

$$\text{Dec} := \text{CreateMesh} \left( \text{SurD}, -\frac{2R}{m}, \frac{2R}{m}, -\frac{2R}{m}, \frac{2R}{m}, \text{xmesh}, \text{ymesh} \right)$$



Dec