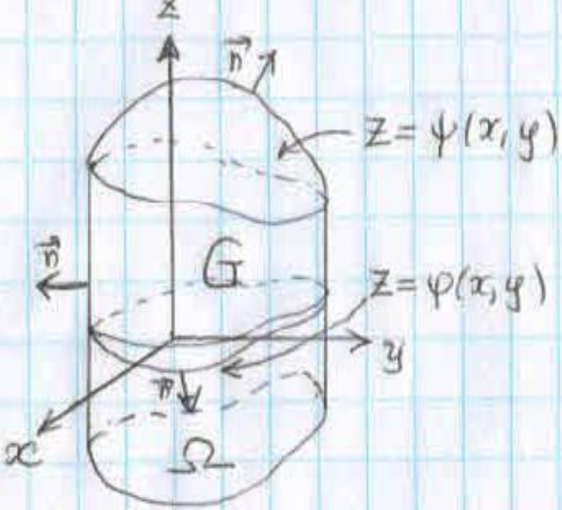
Формула Остроградского-Гаусса

Опр. $\varphi(x,y), \psi(x,y) \in C_1$ в Ω, $\varphi(x,y) \leq \psi(x,y)$ $\forall (x,y) \in \Omega$



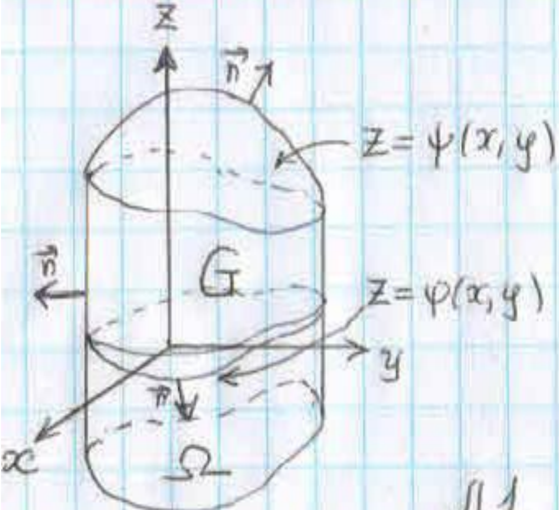
$G \equiv \{(x,y,z): (x,y) \in \Omega, \ \varphi(x,y) \leq z \leq \psi(x,y)\}$ —

замкн. элем. обл. относ. Oz.

Аналогично опред. замкн. элем. обл. относ. Ox, относ. Oy (дать опред. самост.)

Формула Остроградского-Гаусса

Опр. $\varphi(x,y), \psi(x,y) \in C_1$ в Ω, $\varphi(x,y) \le \psi(x,y)$ $\forall (x,y) \in \Omega$



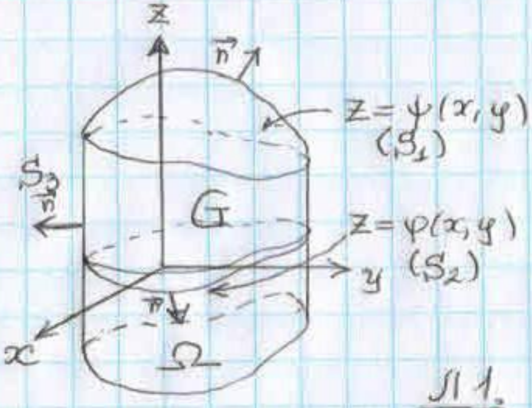
$G \equiv \{(x,y,z): (x,y) \in \Omega,\ \varphi(x,y) \le z \le \psi(x,y)\}$ — замкн. элем. обл. относ. Oz.

Аналогично опред. замкн. элем. обл. относ. Ox, относ. Oy (дать опред. самост.)

Л1. G - замкн. элем. обл. отн. Oz. $R(x,y,z)$, $\frac{\partial R}{\partial z}$ непр. в G (по G). $\Rightarrow \iiint\limits_G \frac{\partial R}{\partial z}\, dx\,dy\,dz = \oint\!\!\oint\limits_{\partial G} R(x,y,z)\, dx\,dy$

Формула Остроградского-Гаусса

Опр. $\varphi(x,y), \psi(x,y) \in C_1$ в Ω, $\varphi(x,y) \le \psi(x,y)$ $\forall (x,y) \in \Omega$



$G \equiv \{(x,y,z): (x,y)\in\Omega, \varphi(x,y) \le z \le \psi(x,y)\}$ — замкн. элем. обл. относ. Oz.

Аналогично опред. замкн. элем. обл. относ. Ox, относ. Oy (дать опред. самост.)

Л1. G - замкн. элем. обл. отн. Oz. $R(x,y,z)$, $\frac{\partial R}{\partial z}$ непр. в G (по G). $\Rightarrow \iiint\limits_G \frac{\partial R}{\partial z}\,dx\,dy\,dz = \oiint\limits_{\partial G} R(x,y,z)\,dx\,dy$

Д-во. $\iiint\limits_G \frac{\partial R}{\partial z}\,dxdydz = \iint\limits_\Omega dxdy \int\limits_{\varphi(x,y)}^{\psi(x,y)} \frac{\partial R}{\partial z}\,dz = \iint\limits_\Omega R(x,y,\psi(x,y))\,dxdy - \iint\limits_\Omega R(x,y,\varphi(x,y))\,dxdy$

$\oiint\limits_{\partial G} R\,dxdy = \iint\limits_{S_1} + \iint\limits_{S_2} + \iint\limits_{S_3}$. $\iint\limits_{S_1} R(x,y,z)\,dxdy = \iint\limits_{S_1} R(x,y,z)\cos\gamma\,dS$

$$\begin{array}{ll} x=u & \vec r = \{u, v, \psi(u,v)\} \\ y=v & \vec r_u = \{1, 0, \psi_u\} \\ z=\psi(u,v) & \vec r_v = \{0, 1, \psi_v\} \end{array} \quad \vec N = [\vec r_u, \vec r_v] = \begin{vmatrix} \vec i & \vec j & \vec k \\ 1 & 0 & \psi_u \\ 0 & 1 & \psi_v \end{vmatrix} = \{-\psi_u, -\psi_v, 1\} \quad \vec n = \frac{\vec N}{|\vec N|} = \frac{\{-\psi_u, -\psi_v, 1\}}{\sqrt{1+\psi_u^2+\psi_v^2}}$$

(т.к. $(\widehat{\vec n, \vec k}) < \frac{\pi}{2}$)

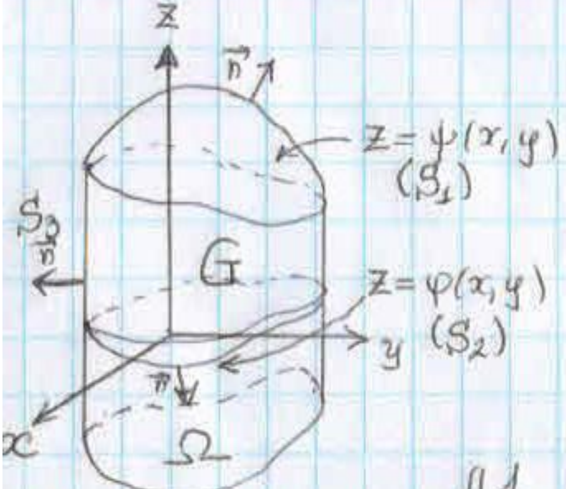
$\cos\gamma\,dS = \frac{1}{\sqrt{1+\psi_u^2+\psi_v^2}} \cdot \sqrt{1+\psi_u^2+\psi_v^2}\,du\,dv \Rightarrow \iint\limits_{S_1} R\,dxdy = \iint\limits_\Omega R(u,v,\psi(u,v))\,du\,dv$

Аналог. $\iint\limits_{S_2} R(x,y,z)\,dxdy = -\iint\limits_\Omega R(u,v,\varphi(u,v))\,du\,dv$ (здесь $\cos\gamma = -\frac{1}{\sqrt{1+\varphi_u^2+\varphi_v^2}}$, т.к. $(\widehat{\vec n, \vec k}) > \frac{\pi}{2}$)

$\iint\limits_{S_3} R(x,y,z)\,dxdy = 0$, т.к. $\cos\gamma = 0$. Лемма доказана.

Формула Остроградского-Гаусса

Опр. $\varphi(x,y), \psi(x,y) \in C_1$ в Ω, $\varphi(x,y) \le \psi(x,y)$ $\forall (x,y) \in \Omega$



$G \equiv \{(x,y,z): (x,y) \in \Omega, \varphi(x,y) \le z \le \psi(x,y)\}$ –

замкн. элем. обл. относ. Oz.

Аналогично опред. замкн. элем. обл. относ. Ox, относ. Oy (дать опред. самост.)

Л1. G - замкн. элем. обл. отн. Oz. $R(x,y,z)$, $\frac{\partial R}{\partial z}$ непр. в G (по G). $\Rightarrow$ $\iiint\limits_G \frac{\partial R}{\partial z}\,dxdydz = \oiint\limits_{\partial G} R(x,y,z)\,dxdy$

Самостоят. д-ть ещё 2 леммы:

Л2. G - замкн. элем. обл. отн. Ox. $P(x,y,z)$, $\frac{\partial P}{\partial x}$ непр. в G (по G). Тогда

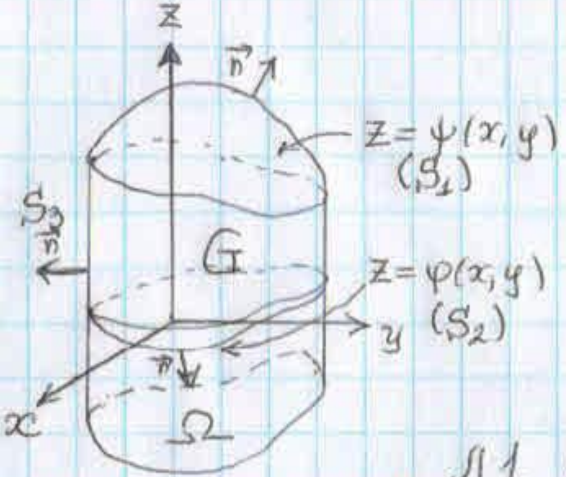
$$\iiint\limits_G \frac{\partial P}{\partial x}\,dxdydz = \oiint\limits_{\partial G} P(x,y,z)\,dydz$$

Л3. G - замкн. элем. обл. отн. Oy, $Q(x,y,z)$, $\frac{\partial Q}{\partial y}$ непр. в G (по G). Тогда

$$\iiint\limits_G \frac{\partial Q}{\partial y}\,dxdydz = \oiint\limits_{\partial G} Q(x,y,z)\,dzdx$$

Формула Остроградского-Гаусса

<u>Опр.</u> $\varphi(x,y), \psi(x,y) \in C_1$ в Ω, $\varphi(x,y) \le \psi(x,y)$ $\forall (x,y) \in \Omega$



$G \equiv \{(x,y,z): (x,y) \in \Omega, \varphi(x,y) \le z \le \psi(x,y)\}$ — замкн. элем. обл относ. Oz.

Аналогично опред. замкн. элем. обл. относ. Ox, относ. Oy (дать опред. самост.)

<u>Л1.</u> G - замкн. элем. обл. отн. Oz. $R(x,y,z)$, $\frac{\partial R}{\partial z}$ непр. в G (по G). $\Rightarrow$

$$\iiint\limits_G \frac{\partial R}{\partial z}\,dx\,dy\,dz = \oiint\limits_{\partial G} R(x,y,z)\,dx\,dy$$

<u>Л2.</u> G - замкн. элем. обл. отн. Ox. $P(x,y,z)$, $\frac{\partial P}{\partial x}$ непр. в G (по G). Тогда

$$\iiint\limits_G \frac{\partial P}{\partial x}\,dx\,dy\,dz = \oiint\limits_{\partial G} P(x,y,z)\,dy\,dz$$

<u>Л3.</u> G - замкн. элем. обл. отн. Oy. $Q(x,y,z)$, $\frac{\partial Q}{\partial y}$ непр. в G (по G). Тогда

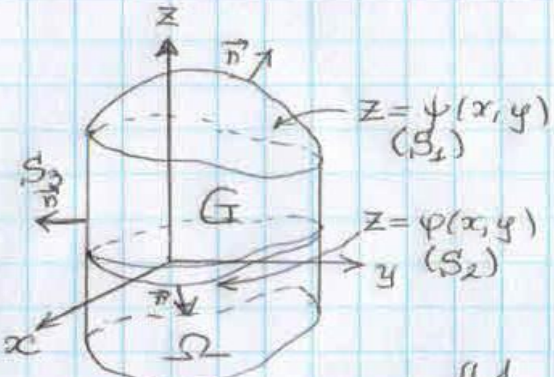
$$\iiint\limits_G \frac{\partial Q}{\partial y}\,dx\,dy\,dz = \oiint\limits_{\partial G} Q(x,y,z)\,dz\,dx$$

<u>Сл.</u> G - замкн. элем. обл. отн. Ox, Oy, Oz. $P, Q, R, \frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial Q}{\partial y}, \frac{\partial R}{\partial z}$ непр. в G (по G)

$$\Rightarrow \iiint\limits_G \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}\right) dx\,dy\,dz = \oiint\limits_{\partial G} P\,dy\,dz + Q\,dz\,dx + R\,dx\,dy$$

Формула Остроградского-Гаусса

Опр. $\varphi(x,y), \psi(x,y) \in C_1$ в Ω, $\varphi(x,y) \le \psi(x,y)$ $\forall (x,y) \in \Omega$



$G \equiv \{(x,y,z):\ (x,y) \in \Omega,\ \varphi(x,y) \le z \le \psi(x,y)\}$ — замкн. элем. обл. относ. Oz.

Аналогично опред. замкн. элем. обл. относ. Ox, относ. Oy (дать опред. самост.)

Л1. G - замкн. элем. обл. отн. Oz. $R(x,y,z)$, $\frac{\partial R}{\partial z}$ непр. в G (по G). $\Rightarrow \iiint\limits_G \frac{\partial R}{\partial z}\,dx\,dy\,dz = \iint\limits_{\partial G} R(x,y,z)\,dx\,dy$

Л2. G - замкн. элем. обл. отн. Ox. $P(x,y,z)$, $\frac{\partial P}{\partial x}$ непр. в G (по G). Тогда

$$\iiint\limits_G \frac{\partial P}{\partial x}\,dx\,dy\,dz = \iint\limits_{\partial G} P(x,y,z)\,dy\,dz$$

Л3. G - замкн. элем. обл. отн. Oy, $Q(x,y,z)$, $\frac{\partial Q}{\partial y}$ непр. в G (по G). Тогда

$$\iiint\limits_G \frac{\partial Q}{\partial y}\,dx\,dy\,dz = \iint\limits_{\partial G} Q(x,y,z)\,dz\,dx$$

Сл. G - замкн. элем. обл. отн. Ox, Oy, Oz. $P, Q, R, \frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial Q}{\partial y}, \frac{\partial R}{\partial z}$ непр. в G (по G)

$$\Rightarrow \iiint\limits_G \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}\right) dx\,dy\,dz = \iint\limits_{\partial G} P\,dy\,dz + Q\,dz\,dx + R\,dx\,dy$$

Т (Остроогр. - Гаусс). G - замкн. обл. с кус.-гл. границей, $G = \bigcup\limits_{k=1}^{n} G_k$, $\mu(G_i \cap G_j) = 0$ $(i \ne j)$, G_k - замкн. элем. обл. отн. Ox, Oy, Oz. $P, Q, R, \frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial Q}{\partial y}, \frac{\partial R}{\partial z}$ непр. в G (по G). $\Rightarrow \iiint\limits_G \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}\right) dx\,dy\,dz = \iint\limits_{\partial G} P\,dy\,dz + Q\,dz\,dx + R\,dx\,dy$

Сл. G-замкн. элем. обл. отн. Ox, Oy, Oz. $P, Q, R, \frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial Q}{\partial y}, \frac{\partial R}{\partial z}$ непр. в G (по G)

$$\Rightarrow \iiint_G \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}\right) dx\,dy\,dz = \oiint_{\partial G} P\,dy\,dz + Q\,dz\,dx + R\,dx\,dy$$

Т (Остр.-Гаусс). G-замкн. обл. с кус.-гл. границей, $G = \bigcup_{k=1}^{n} G_k$, $\mu(G_i \cap G_j) = 0$ $(i \neq j)$, G_k-замкн. элем. обл. отн. Ox, Oy, Oz. $P, Q, R, \frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial Q}{\partial y}, \frac{\partial R}{\partial z}$ непр. в G (по G). $\Rightarrow \iiint_G \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}\right) dx\,dy\,dz = \oiint_{\partial G} P\,dy\,dz + Q\,dz\,dx + R\,dx\,dy$

Д-во. $\iiint_G \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}\right) dx\,dy\,dz = \sum_{k=1}^{n} \iiint_{G_k} \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}\right) dx\,dy\,dz =$

$$= \sum_{k=1}^{n} \oiint_{\partial G_k} P\,dy\,dz + Q\,dz\,dx + R\,dx\,dy = \oiint_{\partial G} P\,dy\,dz + Q\,dz\,dx + R\,dx\,dy,$$

т.к. пов-ые инт-лы 2-го рода по общим частям ∂G_k взаимно уничтож.

Т. доказана.

Формула называется ф-ла Остр.-Гаусса

$\underline{\text{I}}$ (Остроградский - Гаусс). G - замкн. обл. с кус.-гл. границей, $G = \bigcup\limits_{k=1}^{n} G_k$,

$\mu(G_i \cap G_j) = 0$ $(i \neq j)$, G_k - замкн. элем. обл. отн. Ox, Oy, Oz. $P, Q, R, \frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial Q}{\partial y}, \frac{\partial R}{\partial z}$

непр. в G (по G). $\Rightarrow \iiint\limits_G \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}\right) dx\,dy\,dz = \oiint\limits_{\partial G} P\,dy\,dz + Q\,dz\,dx + R\,dx\,dy$

$$\mu(G) = \iiint\limits_G dx\,dy\,dz = \oiint\limits_{\partial G} x\,dy\,dz = \oiint\limits_{\partial G} y\,dz\,dx = \oiint\limits_{\partial G} z\,dx\,dy = \frac{1}{3} \oiint\limits_{\partial G} x\,dy\,dz + y\,dz\,dx + z\,dx\,dy$$

$$\mu(G)=\iiint\limits_G dx\,dy\,dz=\oiint\limits_{\partial G} x\,dy\,dz=\oiint\limits_{\partial G} y\,dz\,dx=\oiint\limits_{\partial G} z\,dx\,dy=\frac{1}{3}\oiint\limits_{\partial G} x\,dy\,dz+y\,dz\,dx+z\,dx\,dy$$

<u>Пример</u>. Объём шара. $G\equiv\{x^2+y^2+z^2\leq R^2\}$ $\partial G=\{x^2+y^2+z^2=R^2\}$

$$x\,dx+y\,dy+z\,dz=0,\ \vec{N}=\{x;y;z\},\ \vec{n}=\oplus\frac{\{x;y;z\}}{R}=\Big\{\underbrace{\frac{x}{R}}_{\cos\alpha};\underbrace{\frac{y}{R}}_{\cos\beta};\underbrace{\frac{z}{R}}_{\cos\gamma}\Big\}$$

$$\mu(G)=\iiint\limits_{x^2+y^2+z^2\leq R^2} dx\,dy\,dz=\frac{1}{3}\oiint\limits_{x^2+y^2+z^2=R^2} x\,dy\,dz+y\,dz\,dx+z\,dx\,dy=\frac{1}{3}\oiint\limits_{x^2+y^2+z^2=R^2}(x\cos\alpha+y\cos\beta+z\cos\gamma)\,dS=$$

$$=\frac{1}{3}\oiint\limits_{x^2+y^2+z^2=R^2}\left(\frac{x^2}{R}+\frac{y^2}{R}+\frac{z^2}{R}\right)dS=\frac{R}{3}\oiint\limits_{x^2+y^2+z^2=R^2} dS=\frac{R}{3}\mu(\partial G)=\frac{4\pi R^3}{3}.$$

$\underline{\text{Т}}$ (Остроградский–Гаусс). G – замкн. обл. с кус.-гл. границей, $G = \bigcup_{k=1}^{n} G_k$,

$\mu(G_i \cap G_j) = 0$ $(i \neq j)$, G_k – замкн. элем. обл. отн. Ox, Oy, Oz. $P, Q, R, \frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial Q}{\partial y}, \frac{\partial R}{\partial z}$

непр. в G (по G). $\Rightarrow \iiint\limits_G \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}\right) dxdydz = \oiint\limits_{\partial G} Pdydz + Qdzdx + Rdxdy$

Д-во. $\iiint\limits_G \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}\right) dxdydz = \sum_{k=1}^{n} \iiint\limits_{G_k} \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}\right) dxdydz =$

$= \sum_{k=1}^{n} \oiint\limits_{\partial G_k} Pdydz + Qdzdx + Rdxdy = \oiint\limits_{\partial G} Pdydz + Qdzdx + Rdxdy$,

т.к. пов-ые инт-лы 2-го рода по общим частям ∂G_k взаимно уничтож.

Т. доказана.

Формула называется ф-ла Остр.-Гаусса

Векторная формулировка. $\vec{a} = \{P, Q, R\} \in C_1$ в G, где G удовлетв.

условиям т. О-Г. Тогда $\iiint\limits_G \operatorname{div} \vec{a}\, dxdydz = \oiint\limits_{\partial G} (\vec{a}, d\vec{S})$.

Т.к. $\vec{r} = \{x; y; z\}$, то ф-ла объёма: $\mu(G) = \frac{1}{3} \oiint\limits_{\partial G} (\vec{r}, d\vec{S})$

Формула Стокса

<u>Т.</u> (Стокс). $S \equiv \{\vec{r}=\vec{r}(u,v),\ (u,v)\in\Omega\}$ – гл. пов-ть; $\vec{r}(u,v)\in C_2$ в Ω;

для Ω верна ф-ла Грина $\left(\oint\limits_{\partial\Omega} A\,du + B\,dv = \iint\limits_{\Omega}\left(\frac{\partial B}{\partial u}-\frac{\partial A}{\partial v}\right)du\,dv\right)$; $\partial\Omega$ – один

кус.-гл. контур $\left(\partial\Omega \equiv \{u=u(t),\ v=v(t),\ t\in[a,b]\}\right)$; $\partial S=\{\vec{r}=\vec{r}(u(t),v(t))\}$;

$\vec{n}=\{\cos\alpha;\cos\beta;\cos\gamma\}$ – ориентация S (единичный норм. вектор), соглас. с обходом ∂S.

$P(x,y,z),\ Q(x,y,z),\ R(x,y,z)\in C_1$ в $G\supset S$. Тогда

$$\oint\limits_{\partial S} P(x,y,z)\,dx+Q(x,y,z)\,dy+R(x,y,z)\,dz=\iint\limits_{S}\begin{vmatrix}\cos\alpha & \cos\beta & \cos\gamma\\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z}\\ P & Q & R\end{vmatrix}dS=$$

$$=\iint\limits_{S}\left\{\left(\frac{\partial R}{\partial y}-\frac{\partial Q}{\partial z}\right)\cos\alpha+\left(\frac{\partial P}{\partial z}-\frac{\partial R}{\partial x}\right)\cos\beta+\left(\frac{\partial Q}{\partial x}-\frac{\partial P}{\partial y}\right)\cos\gamma\right\}dS.$$

$$\oint\limits_{\partial S} P(x,y,z)dx + Q(x,y,z)dy + R(x,y,z)dz = \iint\limits_S \begin{vmatrix} \cos\alpha & \cos\beta & \cos\gamma \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ P & Q & R \end{vmatrix} dS =$$

$$= \iint\limits_S \left\{ \left(\frac{\partial R}{\partial y} - \frac{\partial Q}{\partial z}\right)\cos\alpha + \left(\frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\partial R}{\partial x}\right)\cos\beta + \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y}\right)\cos\gamma \right\} dS.$$

Д-во. $\underline{\oint\limits_{\partial S} P(x,y,z)dx} = \int\limits_a^b P(x(u(t),v(t)), y(u(t),v(t)), z(u(t),v(t)))\left(\frac{\partial x}{\partial u}\dot{u}(t) + \frac{\partial x}{\partial v}\dot{v}(t)\right)dt =$

$x = x(u(t),v(t)),\ y = y(u(t),v(t)),\ z = z(u(t),v(t)),\ t \in [a,b]$

$$= \oint\limits_{\partial\Omega} P(x(u,v), y(u,v), z(u,v))\left(\frac{\partial x}{\partial u}du + \frac{\partial x}{\partial v}dv\right) \overset{\text{Ф.Г.}}{=} \iint\limits_{\Omega} \left\{\frac{\partial}{\partial u}\left(P\cdot\frac{\partial x}{\partial v}\right) - \frac{\partial}{\partial v}\left(P\cdot\frac{\partial x}{\partial u}\right)\right\}dudv =$$

$$= \iint\limits_{\Omega} \left\{\left(\underline{\frac{\partial P}{\partial x}\cdot\frac{\partial x}{\partial u}} + \frac{\partial P}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial u} + \frac{\partial P}{\partial z}\frac{\partial z}{\partial u}\right)\cdot\frac{\partial x}{\partial v} + \underline{P\frac{\partial^2 x}{\partial u\partial v}} - \left(\underline{\frac{\partial P}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial v}} + \frac{\partial P}{\partial y}\cdot\frac{\partial y}{\partial v} + \frac{\partial P}{\partial z}\cdot\frac{\partial z}{\partial v}\right)\frac{\partial x}{\partial u} - \underline{P\frac{\partial^2 x}{\partial u\partial v}}\right\}dudv =$$

$$= \iint\limits_{\Omega} \left\{\frac{\partial P}{\partial z}\cdot\frac{D(z,x)}{D(u,v)} - \frac{\partial P}{\partial y}\cdot\frac{D(x,y)}{D(u,v)}\right\}dudv = \iint\limits_S \frac{\partial P}{\partial z}dzdx - \iint\limits_S \frac{\partial P}{\partial y}dxdy = \underline{\iint\limits_S \left(\frac{\partial P}{\partial z}\cos\beta - \frac{\partial P}{\partial y}\cos\gamma\right)dS}$$

Аналогично: $\oint\limits_{\partial S} Q(x,y,z)dy = \iint\limits_S \left(\frac{\partial Q}{\partial x}\cos\gamma - \frac{\partial Q}{\partial z}\cos\alpha\right)dS$; $\oint\limits_{\partial S} R(x,y,z)dz = \iint\limits_S \left(\frac{\partial R}{\partial y}\cos\alpha - \frac{\partial R}{\partial x}\cos\beta\right)dS$

Складываем. Теор. доказана.

Формула Стокса

<u>Т.</u> (Стокс). $S \equiv \{\vec{r} = \vec{r}(u,v),\ (u,v) \in \Omega\}$ – гл. пов-сть; $\vec{r}(u,v) \in C_2$ в Ω;

для Ω верна ф-ла Грина $\left(\oint\limits_{\partial\Omega} A\,du + B\,dv = \iint\limits_{\Omega} \left(\frac{\partial B}{\partial u} - \frac{\partial A}{\partial v}\right) du\,dv \right)$; $\partial\Omega$ – один

кус.-гл. контур $\left(\partial\Omega \equiv \{u = u(t),\ v = v(t),\ t \in [a,b]\} \right)$; $\partial S = \{\vec{r} = \vec{r}(u(t), v(t))\}$;

$\vec{n} = \{\cos\alpha; \cos\beta; \cos\gamma\}$ – ориентация S (единичный норм. вектор), соглас. с обходом ∂S.

$P(x,y,z),\ Q(x,y,z),\ R(x,y,z) \in C_1$ в $G \supset S$. Тогда

$$\oint\limits_{\partial S} P(x,y,z)\,dx + Q(x,y,z)\,dy + R(x,y,z)\,dz = \iint\limits_{S} \begin{vmatrix} \cos\alpha & \cos\beta & \cos\gamma \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ P & Q & R \end{vmatrix} dS =$$

$$= \iint\limits_{S} \left\{ \left(\frac{\partial R}{\partial y} - \frac{\partial Q}{\partial z}\right)\cos\alpha + \left(\frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\partial R}{\partial x}\right)\cos\beta + \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y}\right)\cos\gamma \right\} dS.$$

Эта теорема верна и при более слабых предположениях.

Формула Стокса

<u>Т.</u> (Стокс). $S \equiv \{\vec{r}=\vec{r}(u,v),\ (u,v)\in\Omega\}$ – гл. пов-сть; $\vec{r}(u,v)\in C_2$ в Ω;

для Ω верна ф-ла Грина $\left(\oint\limits_{\partial\Omega} A\,du+B\,dv=\iint\limits_{\Omega}\left(\frac{\partial B}{\partial u}-\frac{\partial A}{\partial v}\right)du\,dv\right)$; $\partial\Omega$ – один

кус.-гл. контур $\left(\partial\Omega\equiv\{u=u(t),\ v=v(t),\ t\in[a,b]\}\right)$; $\partial S=\{\vec{r}=\vec{r}(u(t),v(t))\}$;

$\vec{n}=\{\cos\alpha;\cos\beta;\cos\gamma\}$ – ориентация S (единичный норм. вектор), соглас. с обходом ∂S.

$P(x,y,z),\ Q(x,y,z),\ R(x,y,z)\in C_1$ в $G\supset S$. Тогда

$$\oint\limits_{\partial S} P(x,y,z)\,dx+Q(x,y,z)\,dy+R(x,y,z)\,dz=\iint\limits_{S}\begin{vmatrix}\cos\alpha & \cos\beta & \cos\gamma\\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z}\\ P & Q & R\end{vmatrix}dS=$$

$$=\iint\limits_{S}\left\{\left(\frac{\partial R}{\partial y}-\frac{\partial Q}{\partial z}\right)\cos\alpha+\left(\frac{\partial P}{\partial z}-\frac{\partial R}{\partial x}\right)\cos\beta+\left(\frac{\partial Q}{\partial x}-\frac{\partial P}{\partial y}\right)\cos\gamma\right\}dS.$$

Векторная формулировка формулы Стокса:

$$\vec{u}=\{P;Q;R\}\in C_1 \text{ в } G\supset S \Rightarrow \oint\limits_{\partial S}(\vec{u},d\vec{r})=\iint\limits_{S}(\operatorname{rot}\vec{u},d\vec{S})$$

(проверить самостоятельно)

Формула Стокса

<u>Т.</u> (Стокс). $S \equiv \{\vec{r} = \vec{r}(u,v),\ (u,v) \in \Omega\}$ – гл. пов-сть; $\vec{r}(u,v) \in C_2$ в Ω;

для Ω верна ф-ла Грина $\left(\oint\limits_{\partial\Omega} A\,du + B\,dv = \iint\limits_{\Omega} \left(\frac{\partial B}{\partial u} - \frac{\partial A}{\partial v}\right) du\,dv \right)$; $\partial\Omega$ – один

кус.-гл. контур $\left(\partial\Omega \equiv \{u = u(t),\ v = v(t),\ t \in [a,b]\right)$; $\partial S = \{\vec{r} = \vec{r}\,(u(t), v(t))\}$;

$\vec{n} = \{\cos\alpha; \cos\beta; \cos\gamma\}$ – ориентация S (единичный норм. вектор), соглас. с обходом ∂S.

$P(x,y,z),\ Q(x,y,z),\ R(x,y,z) \in C_1$ в $G \supset S$. Тогда

$$\oint\limits_{\partial S} P(x,y,z)dx + Q(x,y,z)dy + R(x,y,z)\,dz = \iint\limits_{S} \begin{vmatrix} \cos\alpha & \cos\beta & \cos\gamma \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ P & Q & R \end{vmatrix} dS =$$

$$= \iint\limits_{S} \left\{ \left(\frac{\partial R}{\partial y} - \frac{\partial Q}{\partial z}\right)\cos\alpha + \left(\frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\partial R}{\partial x}\right)\cos\beta + \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y}\right)\cos\gamma \right\} dS.$$

Векторная формулировка формулы Стокса:

$$\vec{u} = \{P; Q; R\} \in C_1 \text{ в } G \supset S \Rightarrow \oint\limits_{\partial S} (\vec{u}, d\vec{r}) = \iint\limits_{S} (\operatorname{rot}\vec{u}, d\vec{S})$$

(проверить самостоятельно)

$\int\limits_{AB} (\vec{u}, d\vec{r}) = \int\limits_{AB} P\,dx + Q\,dy + R\,dz$ – линейный интеграл $\quad \oint\limits_{\Gamma} (\vec{u}, d\vec{r})$ – циркуляция