



Санкт-Петербургский государственный университет

Практика по геометрии

3 семестр, преподаватель Амрани И. М.
Записал Костин П.А.¹

¹Данный документ неидеальный, прошу сообщать о найденных недочетах [вконтакте](#) (можно присылать скрины неточностей с указанием билетов)

Содержание

0.1	(03.09.19) Кривые и поверхности	3
0.2	(10.09.19) Задачи на кривые	4
0.3	(17.09.19) Поверхности	7
0.4	(24.10.19) Первая фундаментальная форма	8
0.5	(01.10.19) Ещё задача на $I(F)$	9
0.6	(01.10.2019) Вторая фундаментальная форма	11
0.7	(08.10.19) Практика совместно с 242	15
0.8	(15.10.19) Практика совместно с 242 x2	17
0.9	(22.10.19) Завершаем тему	20
0.10	(29.10.19) Кривые и поверхности	21
0.11	(05.11.19) ???	23
0.12	(12.11.19) ???	25

0.1 (03.09.19) Кривые и поверхности

Пример

$$\gamma: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad \gamma \in C^2, \quad \text{т.ч.} \quad |\gamma(t)| = 1 \quad \forall t \in \mathbb{R}$$

$$\text{Д-ть, что } \gamma'(t) \perp \gamma''(t) \quad \forall t \in \mathbb{R}$$

Док-во

$$|\gamma'| = 1 \Leftrightarrow \sqrt{\langle \dot{\gamma}, \dot{\gamma} \rangle} = 1 \Leftrightarrow \langle \dot{\gamma}, \dot{\gamma} \rangle = 1$$

$$(\langle \dot{\gamma}, \dot{\gamma} \rangle)' = (1)' \Rightarrow 2 \langle \dot{\gamma}, \ddot{\gamma} \rangle = 0$$

Вообще очевидно, но если нет, то:

$$(\langle \dot{\gamma}, \dot{\gamma} \rangle)' = \left(\sum_{i=1}^3 \dot{\gamma}_i^2 \right)' = \sum_{i=1}^3 2\dot{\gamma}_i \ddot{\gamma}_i = 2 \langle \dot{\gamma}, \ddot{\gamma} \rangle$$

Пример

$$\gamma: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad \gamma \in C^3, \quad |\gamma'| = 1, \quad \gamma'' \neq 0$$

$$T(t) = \gamma'(t), \quad B(t) = T(t) \times N(t), \quad N(t) = \frac{\gamma''(t)}{|\gamma''(t)|}$$

1. Д-ть, что $\{T(t), N(t), B(t)\}$ - ОНБ

2. Найти координаты $\frac{dT}{dt}, \frac{dN}{dt}, \frac{dB}{dt}$ в базисе $\{T, N, B\}$

Решение

1. Очевидно, $B(t) = \underset{=1}{T} \cdot \underset{=1}{N} \sin \angle(T, N)$

$$T \perp N \text{ (по пред. задаче), } B \perp N, \quad B \perp T \text{ (по опр. вект. произв.)}$$

2. По определению "взятием производной" получаем:

$$\frac{dT}{dt} = 0T + |\ddot{\gamma}|N + 0B$$

$$\langle N, T \rangle = 0 \Rightarrow \langle \frac{dN}{dt}, T \rangle + \langle N, \frac{dT}{dt} \rangle = 0$$

$$\text{Аналогично } 0 = \langle \frac{dT}{dt}, B \rangle = - \langle \frac{dB}{dt}, T \rangle$$

$$|\ddot{\gamma}| = \langle \frac{dN}{dt}, T \rangle = - \langle N, \frac{dT}{dt} \rangle$$

$$\frac{dN}{dt} = -|\ddot{\gamma}|T + 0N + \tau(t)B$$

$$\frac{dB}{dt} = 0T - \tau(t)N + 0B$$

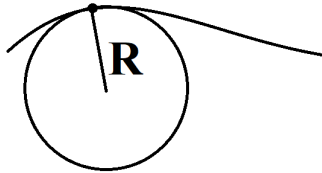
0.2 (10.09.19) Задачи на кривые

Мы хотим найти τ через $\dot{\gamma}$, $\ddot{\gamma}$, $\ddot{\gamma}$

Замечание

На плоскости в каждой точке гладкой кривой есть окружность, которая наилучшим образом приближает кривую

$$R = \frac{1}{|\ddot{\gamma}|}, \quad |\ddot{\gamma}| := \kappa - \text{кривизна}$$



Решение (продолжение)

$$\tau = \langle \frac{dN}{dt}, B \rangle$$

$$\frac{dN}{dt} = \left(\frac{\ddot{\gamma}}{|\ddot{\gamma}|} \right)' = \frac{\ddot{\gamma}|\ddot{\gamma}| - |\ddot{\gamma}|'\ddot{\gamma}}{|\ddot{\gamma}|^2}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \langle \frac{dN}{dt}, B \rangle &= \langle \frac{\ddot{\gamma}|\ddot{\gamma}| - |\ddot{\gamma}|'\ddot{\gamma}}{|\ddot{\gamma}|^2}, \frac{\dot{\gamma} \times \ddot{\gamma}}{|\ddot{\gamma}|} \rangle = \\ &= \frac{1}{|\ddot{\gamma}|^3} \langle \ddot{\gamma}|\ddot{\gamma}| - |\ddot{\gamma}|'\ddot{\gamma}, \dot{\gamma} \times \ddot{\gamma} \rangle \underset{\text{см. на N}}{=} \\ &= \frac{1}{|\ddot{\gamma}|^3} \langle \ddot{\gamma}|\ddot{\gamma}|, \dot{\gamma} \times \ddot{\gamma} \rangle = \frac{1}{|\ddot{\gamma}|^2} \langle \ddot{\gamma}, \dot{\gamma} \times \ddot{\gamma} \rangle = \frac{(\dot{\gamma}, \ddot{\gamma}, \ddot{\gamma})}{|\ddot{\gamma}|^2} \end{aligned}$$

Пример

$$\gamma : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad t \mapsto (4 \cos(t), 5 - 5 \sin(t), -3 \cos(t))$$

1. Найти κ и τ
2. Понять, что из себя представляет линия

Решение

1. Предыдущую задачу мы не можем просто так применить, потому что $|\dot{\gamma}| = 5 \neq 1$, но мы можем перепараметризовать:

$$\tilde{\gamma} : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad t \mapsto (4 \cos(\frac{t}{5}), 5 - 5 \sin(\frac{t}{5}), -3 \cos(\frac{t}{5}))$$

$$\dot{\tilde{\gamma}} = (-\frac{4}{5} \sin(\frac{t}{5}), -\cos(\frac{t}{5}), \frac{3}{5} \sin(\frac{t}{5}))$$

$$\Rightarrow |\dot{\tilde{\gamma}}| = 1$$

$$\ddot{\tilde{\gamma}} = (-\frac{4}{25} \cos(\frac{t}{5}), \frac{1}{5} \sin(\frac{t}{5}), \frac{3}{25} \cos(\frac{t}{5}))$$

$$\Rightarrow \kappa = |\ddot{\tilde{\gamma}}| = \frac{1}{25}$$

$$\ddot{\tilde{\gamma}} = (\frac{4}{125} \sin(\frac{t}{5}), \frac{1}{25} \cos(\frac{t}{5}), -\frac{3}{125} \sin(\frac{t}{5}))$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{(\dot{\gamma}, \ddot{\gamma}, \ddot{\gamma})}{|\ddot{\gamma}|^2} = 25(\dot{\gamma}, \ddot{\gamma}, \ddot{\gamma}) = 0$$

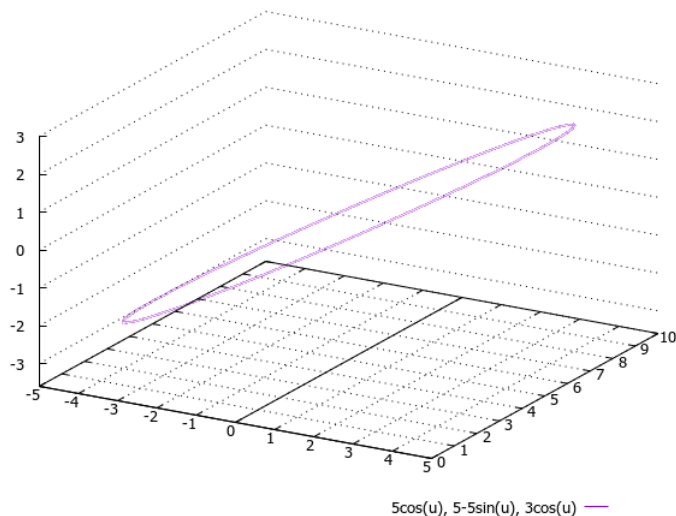
2. Наша линия находится на плоскости:

$$3x + 0y + 4z$$

И лежит на сфере:

$$x^2 + (y - 5)^2 + z^2 = 25$$

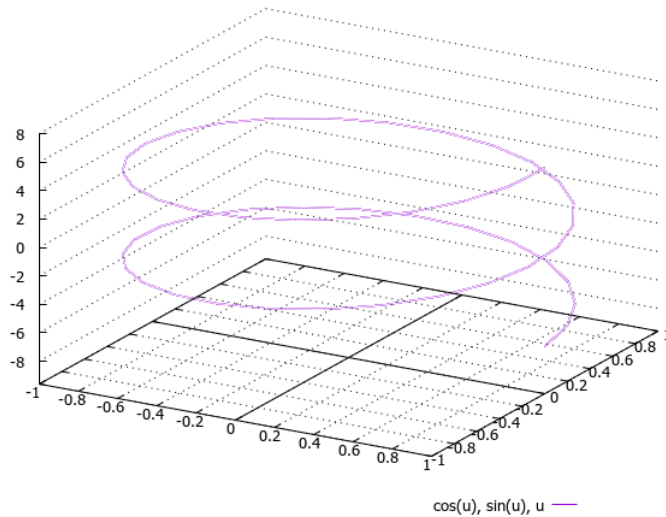
Значит она представляет из себя окружность, потому что есть разные точки



Пример

$$\gamma : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad t \mapsto (\cos(t), \sin(t), t)$$

1. Построить график



2. Найти κ и τ

Решение

Аналогично $t \rightarrow \frac{t}{\sqrt{2}}$

$$\tilde{\gamma} : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad t \mapsto \left(\cos\left(\frac{t}{\sqrt{2}}\right), \sin\left(\frac{t}{\sqrt{2}}\right), \frac{t}{\sqrt{2}} \right)$$

$$\tilde{\dot{\gamma}} = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \sin\left(\frac{t}{\sqrt{2}}\right), \frac{1}{\sqrt{2}} \cos\left(\frac{t}{\sqrt{2}}\right), \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$$

$$\Rightarrow |\tilde{\dot{\gamma}}| = 1$$

$$\tilde{\ddot{\gamma}} = \left(-\frac{1}{2} \cos\left(\frac{t}{\sqrt{2}}\right), -\frac{1}{2} \sin\left(\frac{t}{\sqrt{2}}\right), 0 \right)$$

$$\Rightarrow \kappa = |\tilde{\ddot{\gamma}}| = \frac{1}{2}$$

$$\tilde{\ddot{\gamma}} = \left(\frac{1}{2\sqrt{2}} \sin\left(\frac{t}{\sqrt{2}}\right), -\frac{1}{2\sqrt{2}} \cos\left(\frac{t}{\sqrt{2}}\right), 0 \right)$$

$$\tau = \frac{(\dot{\gamma}, \ddot{\gamma}, \ddot{\gamma})}{|\ddot{\gamma}|^2}$$

$$(\dot{\gamma}, \ddot{\gamma}, \ddot{\gamma}) = \det \begin{pmatrix} -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin(\frac{t}{\sqrt{2}}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\frac{t}{\sqrt{2}}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} \cos(\frac{t}{\sqrt{2}}) & -\frac{1}{2} \sin(\frac{t}{\sqrt{2}}) & 0 \\ \frac{1}{2\sqrt{2}} \sin(\frac{t}{\sqrt{2}}) & -\frac{1}{2\sqrt{2}} \cos(\frac{t}{\sqrt{2}}) & 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{8}$$

0.3 (17.09.19) Поверхности

Пример

$\gamma : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad t \mapsto (r(t), 0, z(t)),$ где $r : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, z : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$

Найти параметризацию поверхности вращения вокруг OZ

Док-во

Из геометрических соображений: $(r(t) \cos \varphi, r(t) \sin \varphi, z(t)), \varphi \in [0, 2\pi]$

Более строго:

$$\begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r(t) \\ 0 \\ z(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r(t) \cos \alpha \\ r(t) \sin \alpha \\ z(t) \end{pmatrix}$$

Опр

Гладкая двухмерная поверхность:

$$F : \overset{\text{откр}}{U}_{t, s} \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$$

т.ч. $\frac{\partial F}{\partial s}, \frac{\partial F}{\partial t}$ - непрерывные функции

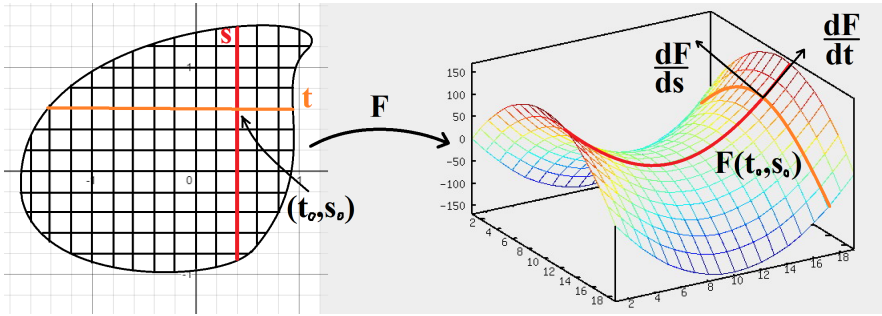
Опр

Гладкая регулярная поверхность:

$$F : \overset{\text{откр}}{U}_{t, s} \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$$

т.ч. $\frac{\partial F}{\partial s}, \frac{\partial F}{\partial t}$ - линейно независимы

"регулярная = скорость не обнуляется"



0.4 (24.10.19) Первая фундаментальная форма

Пример

$$F : U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$$

$$\begin{aligned} \det \begin{pmatrix} \left\langle \frac{\partial F}{\partial t}, \frac{\partial F}{\partial t} \right\rangle & \left\langle \frac{\partial F}{\partial s}, \frac{\partial F}{\partial t} \right\rangle \\ \left\langle \frac{\partial F}{\partial t}, \frac{\partial F}{\partial s} \right\rangle & \left\langle \frac{\partial F}{\partial s}, \frac{\partial F}{\partial s} \right\rangle \end{pmatrix} = \\ = \left\langle \frac{\partial F}{\partial t}, \frac{\partial F}{\partial t} \right\rangle \left\langle \frac{\partial F}{\partial s}, \frac{\partial F}{\partial s} \right\rangle - \left\langle \frac{\partial F}{\partial s}, \frac{\partial F}{\partial t} \right\rangle \left\langle \frac{\partial F}{\partial t}, \frac{\partial F}{\partial s} \right\rangle = \\ = \left| \frac{\partial F}{\partial t} \right|^2 \left| \frac{\partial F}{\partial s} \right|^2 - \left| \frac{\partial F}{\partial s} \right|^2 \left| \frac{\partial F}{\partial t} \right|^2 \cos^2 t = \left| \frac{\partial F}{\partial t} \right|^2 \left| \frac{\partial F}{\partial s} \right|^2 = \left| \frac{\partial F}{\partial t} \times \frac{\partial F}{\partial s} \right|^2 \end{aligned}$$

Замечание

$$A(S) = \sum A(\square)$$

$$A(\square) \approx \left| \frac{\partial F}{\partial t} \times \frac{\partial F}{\partial s} \right| \Delta t \Delta s$$

$$I(F) = \begin{pmatrix} \left\langle \frac{\partial F}{\partial t}, \frac{\partial F}{\partial t} \right\rangle & \left\langle \frac{\partial F}{\partial s}, \frac{\partial F}{\partial t} \right\rangle \\ \left\langle \frac{\partial F}{\partial t}, \frac{\partial F}{\partial s} \right\rangle & \left\langle \frac{\partial F}{\partial s}, \frac{\partial F}{\partial s} \right\rangle \end{pmatrix}$$

$$A(S) = \iint \left| \frac{\partial F}{\partial t} \times \frac{\partial F}{\partial s} \right| dt ds = \iint \sqrt{\det I(F)} dt ds$$

Пример

$$F : (0, 2\pi) \times (0, 2\pi) \rightarrow \mathbb{R}^3$$

$$(\theta, \varphi) \rightarrow (\cos \theta \sin \varphi, \cos \theta \cos \varphi, \sin \theta)$$

1. Доказать, что образ F находится на сфере радиуса 1
2. Найти S сферы через $I(F)$

Док-во

1. Видно из параметрического уравнения сферы что это сфера, а также понятен радиус и её центр

$$\begin{cases} x = x_0 + R \cdot \sin \theta \cdot \cos \phi, \\ y = y_0 + R \cdot \sin \theta \cdot \sin \phi, \\ z = z_0 + R \cdot \cos \theta, \end{cases}$$

где $\theta \in [0, \pi]$ и $\phi \in [0, 2\pi]$ (у нас будет сдвиг на угол)

2. Найдем переменные для $I(F)$:

$$\left\langle \frac{\partial F}{\partial \theta}, \frac{\partial F}{\partial \theta} \right\rangle = \sin^2 \theta \sin^2 \varphi + \sin^2 \theta \cos^2 \varphi + \cos^2 \theta = 1$$

$$\left\langle \frac{\partial F}{\partial \theta}, \frac{\partial F}{\partial \varphi} \right\rangle = 0, \quad \left\langle \frac{\partial F}{\partial \varphi}, \frac{\partial F}{\partial \theta} \right\rangle = 0, \quad \left\langle \frac{\partial F}{\partial \varphi}, \frac{\partial F}{\partial \varphi} \right\rangle = \cos^2 \theta$$

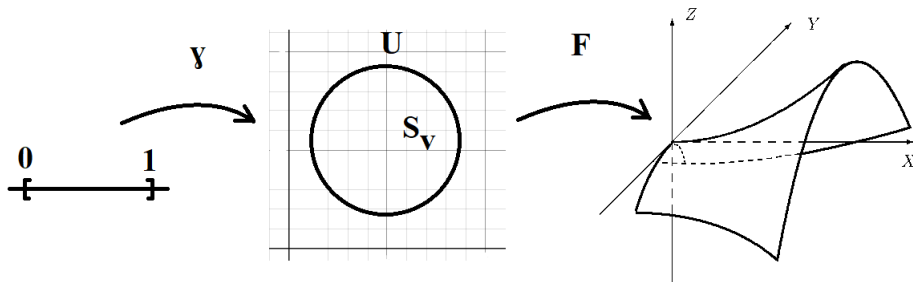
$$\Rightarrow I(F) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \cos^2 \theta \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow A(S) = \iint \sqrt{\det I(F)} d\theta d\varphi = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} |\cos \theta| d\theta d\varphi = \int_0^\pi 4 d\varphi = 4\pi$$

0.5 (01.10.19) Ещё задача на $I(F)$

Пример

$$F : U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3, \quad C^1 \text{ регулярная}$$



Найти длину $\tilde{\gamma} = F \circ \gamma$ через γ и $I(F)$

Решение

$$l(F \circ \gamma) := \int_0^1 |F \circ \gamma(t)'| dt$$

$$\frac{d(F \circ \gamma(t))}{dt} = \underbrace{\frac{\partial F}{\partial x}}_{\text{вектор}} \overbrace{\dot{\gamma}_1(t)}^{\text{скаляр}} + \frac{\partial F}{\partial y} \dot{\gamma}_2(t) =$$

$$= \left\langle \frac{\partial F}{\partial x} \dot{\gamma}_1(t) + \frac{\partial F}{\partial y} \dot{\gamma}_2(t), \frac{\partial F}{\partial x} \dot{\gamma}_1(t) + \frac{\partial F}{\partial y} \dot{\gamma}_2(t) \right\rangle =$$

$$= \left\langle \frac{\partial F}{\partial x}, \frac{\partial F}{\partial x} \right\rangle \dot{\gamma}_1^2(t) + 2 \left\langle \frac{\partial F}{\partial x}, \frac{\partial F}{\partial y} \right\rangle \dot{\gamma}_1(t) \dot{\gamma}_2(t) + \left\langle \frac{\partial F}{\partial y}, \frac{\partial F}{\partial y} \right\rangle \dot{\gamma}_2^2(t) =$$

$$= (\dot{\gamma}_1, \dot{\gamma}_2) I(F) \begin{pmatrix} \dot{\gamma}_1 \\ \dot{\gamma}_2 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow l(F \circ \gamma) = \int_0^1 \sqrt{(\dot{\gamma}_1, \dot{\gamma}_2) I(F) \begin{pmatrix} \dot{\gamma}_1 \\ \dot{\gamma}_2 \end{pmatrix}} dt$$

0.6 (01.10.2019) Вторая фундаментальная форма

Опр

$$F : U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3 \quad C^2 \text{ регулярная}$$

$$\left| \frac{\partial F}{\partial x} \times \frac{\partial F}{\partial y} \right| \neq 0$$

$$n := \frac{\frac{\partial F}{\partial x} \times \frac{\partial F}{\partial y}}{\left| \frac{\partial F}{\partial x} \times \frac{\partial F}{\partial y} \right|} - \text{перп. обоим и по модулю 1}$$

$$L = \langle \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}, n \rangle, \quad M = \langle \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y}, n \rangle, \quad N = \langle \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}, n \rangle$$

$$\Pi(F) = \begin{pmatrix} L & M \\ M & N \end{pmatrix}$$

Замечание

$\Pi(F)$ говорит, какая ПВП лучше всего приближает в данной точке

Пример

Пусть есть сфера радиуса r :

$$\begin{cases} x = x_0 + R \cdot \sin \theta \cdot \cos \phi, \\ y = y_0 + R \cdot \sin \theta \cdot \sin \phi, \\ z = z_0 + R \cdot \cos \theta, \end{cases}$$

где $\theta \in [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ и $\phi \in [0, 2\pi)$

Найти $\Pi(F)$, $I(F)$ и $\frac{\det(\Pi)}{\det(I)}$

Решение

Посчитаем $I(F)$:

$$\frac{\partial F}{\partial \theta} = (-r \sin \theta \cos \varphi, -r \sin \theta \sin \varphi, r \cos \theta)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \varphi} = (-r \cos \theta \sin \varphi, r \cos \theta \cos \varphi, 0)$$

$$\begin{aligned}
\left\langle \frac{\partial F}{\partial \theta}, \frac{\partial F}{\partial \theta} \right\rangle &= r^2, & \left\langle \frac{\partial F}{\partial \theta}, \frac{\partial F}{\partial \varphi} \right\rangle &= 0 \\
\left\langle \frac{\partial F}{\partial \varphi}, \frac{\partial F}{\partial \theta} \right\rangle &= 0, & \left\langle \frac{\partial F}{\partial \varphi}, \frac{\partial F}{\partial \varphi} \right\rangle &= r^2 \cos^2 \theta \\
\Rightarrow I(F) &= \begin{pmatrix} r^2 & 0 \\ 0 & r^2 \cos^2 \theta \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

Посчитаем $\Pi(F)$:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2 F}{\partial \theta^2} &= (-r \cos \varphi \cos \theta, -r \cos \theta \sin \varphi, -r \sin \theta) \\
\frac{\partial^2 F}{\partial \theta \partial \varphi} &= (r \sin \theta \sin \varphi, -r \sin \theta \cos \varphi, 0) \\
\frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2} &= (-r \cos \theta \cos \varphi, -r \cos \theta \sin \varphi, 0)
\end{aligned}$$

Напоминание В правом ортонормированном базисе:

Если два вектора \vec{a} и \vec{b} представлены координатами

$$\vec{a} = (a_x, a_y, a_z), \quad \vec{b} = (b_x, b_y, b_z),$$

то их векторное произведение имеет координаты

$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_y b_z - a_z b_y, a_z b_x - a_x b_z, a_x b_y - a_y b_x)$$

Для запоминания этой формулы удобно использовать мнемонический определитель:

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix},$$

где $\mathbf{i} = (1, 0, 0)$, $\mathbf{j} = (0, 1, 0)$, $\mathbf{k} = (0, 0, 1)$

$$\frac{\partial F}{\partial \theta} \times \frac{\partial F}{\partial \varphi} = (-r^2 \cos^2 \theta \cos \varphi, -r^2 \cos^2 \theta \sin \varphi, -r^2 \sin \theta \cos \theta)$$

$$n = \frac{\frac{\partial F}{\partial \theta} \times \frac{\partial F}{\partial \varphi}}{\left| \frac{\partial F}{\partial \theta} \times \frac{\partial F}{\partial \varphi} \right|} = (-\cos \theta \cos \varphi, -\cos \theta \sin \varphi, -\sin \theta)$$

$$L = \left\langle \frac{\partial^2 F}{\partial \theta^2}, \bar{n} \right\rangle = r$$

$$M = \left\langle \frac{\partial^2 F}{\partial \theta \partial \varphi}, \bar{n} \right\rangle = 0$$

$$N = \left\langle \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2}, \bar{n} \right\rangle = r \cos^2 \theta$$

$$\Rightarrow \Pi(F) = \begin{pmatrix} r & 0 \\ 0 & r \cos^2 \theta \end{pmatrix}$$

$$K = \frac{\det \Pi(F)}{\det I(F)} = \frac{1}{r^2} - \text{кривизна Гаусса}$$

Пример

Пусть $\gamma : t \rightarrow (t - \operatorname{th}(t), 0, \frac{1}{\operatorname{ch}(t)}), \quad t > 0$

1. Найти S поверхности, полученной вращением γ вокруг OZ
2. Найти $\Pi(F)$, $I(F)$ и $K = \frac{\det(\Pi)}{\det(I)}$

Решение

Была задача $(r(t), 0, z(t)) \Rightarrow (r(t) \cos \varphi, r(t) \sin \varphi, z(t)), \varphi \in [0, 2\pi]$

$$\Rightarrow \left((t - \operatorname{th}(t)) \cos \varphi, (t - \operatorname{th}(t)) \sin \varphi, \frac{1}{\operatorname{ch}(t)} \right), \varphi \in [0, 2\pi]$$

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \left(\left(1 - \frac{1}{\operatorname{ch}^2(t)} \right) \cos \varphi, \left(1 - \frac{1}{\operatorname{ch}^2(t)} \right) \sin \varphi, \frac{\operatorname{sh}(t)}{\operatorname{ch}^2(t)} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{\partial F}{\partial t} = \left(\operatorname{th}^2(t) \cos \varphi, \operatorname{th}^2(t) \sin \varphi, \frac{\operatorname{sh}(t)}{\operatorname{ch}^2(t)} \right)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \varphi} = (-(t - \operatorname{th}(t)) \sin \varphi, (t - \operatorname{th}(t)) \cos \varphi, 0)$$

$$\left\langle \frac{\partial F}{\partial t}, \frac{\partial F}{\partial t} \right\rangle = \operatorname{th}^4(t) + \frac{\operatorname{sh}^2(t)}{\operatorname{ch}^4(t)} = \operatorname{th}^4 \left(1 + \frac{1}{\operatorname{sh}^2} \right) = \operatorname{th}^2(t), \quad \left\langle \frac{\partial F}{\partial t}, \frac{\partial F}{\partial \varphi} \right\rangle = 0$$

$$\left\langle \frac{\partial F}{\partial \varphi}, \frac{\partial F}{\partial t} \right\rangle = 0, \quad \left\langle \frac{\partial F}{\partial \varphi}, \frac{\partial F}{\partial \varphi} \right\rangle = (t - \operatorname{th}(t))^2$$

$$\Rightarrow I(F) = \begin{pmatrix} \operatorname{th}^2(t) & 0 \\ 0 & (t - \operatorname{th}(t))^2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
A(S) &= \iint \sqrt{\det I(F)} dt d\varphi = \iint \sqrt{(t - \operatorname{th}(t))^2 \operatorname{th}^2(t)} dt d\varphi = \\
&= \iint |(t - \operatorname{th}(t)) \operatorname{th}(t)| dt d\varphi = \iint (t - \operatorname{th}(t)) \operatorname{th}(t) dt d\varphi
\end{aligned}$$

- ???

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial F}{\partial t} \times \frac{\partial F}{\partial \varphi} = \\
&\left((\operatorname{th}^2(t) \sin \varphi) (0) - \left(\frac{\operatorname{sh}(t)}{\operatorname{ch}^2(t)} \right) ((t - \operatorname{th}(t)) \cos \varphi), \right. \\
&\left(\frac{\operatorname{sh}(t)}{\operatorname{ch}^2(t)} \right) ((\operatorname{th}(t) - t) \sin \varphi) - (\operatorname{th}^2(t) \cos \varphi) (0), \\
&\left. (\operatorname{th}^2(t) \cos \varphi) ((t - \operatorname{th}(t)) \cos \varphi) - (\operatorname{th}^2(t) \sin \varphi) ((\operatorname{th}(t) - t) \sin \varphi) \right) = \\
&= \left(- \left(\frac{\operatorname{sh}(t)}{\operatorname{ch}^2(t)} \right) (t - \operatorname{th}(t)) \cos \varphi, \right. \\
&\quad \left. \left(\frac{\operatorname{sh}(t)}{\operatorname{ch}^2(t)} \right) (\operatorname{th}(t) - t) \sin \varphi, (t - \operatorname{th}(t)) \operatorname{th}^2(t) \right) = \\
&\left| \frac{\partial F}{\partial t} \times \frac{\partial F}{\partial \varphi} \right| = \sqrt{\left(\frac{\operatorname{sh}(t)}{\operatorname{ch}^2(t)} \right)^2 ((t - \operatorname{th}(t)))^2 + ((t - \operatorname{th}(t)) \operatorname{th}^2(t))^2} = \\
&= |t - \operatorname{th}(t)| \operatorname{th}^2(t) \sqrt{\frac{1}{\operatorname{sh}^2(t)} + 1} = |(t - \operatorname{th}(t)) \operatorname{th}(t)| \operatorname{th}^2(t) = \operatorname{th}^3(t)(t - \operatorname{th}(t)) \\
n &= \frac{\frac{\partial F}{\partial \theta} \times \frac{\partial F}{\partial \varphi}}{\left| \frac{\partial F}{\partial \theta} \times \frac{\partial F}{\partial \varphi} \right|} = \left(- \left(\frac{1}{\operatorname{ch}(t)} \right) \frac{1}{\operatorname{th}^2(t)} \cos \varphi, - \left(\frac{1}{\operatorname{ch}(t)} \right) \frac{1}{\operatorname{th}^2(t)} \sin \varphi, \frac{1}{\operatorname{th}(t)} \right) \\
&\frac{\partial F}{\partial t} = \left(\operatorname{th}^2(t) \cos \varphi, \operatorname{th}^2(t) \sin \varphi, \frac{\operatorname{sh}(t)}{\operatorname{ch}^2(t)} \right) \\
\Rightarrow \frac{\partial^2 F}{\partial t^2} &= \left(2 \frac{1}{\operatorname{ch}^2(t)} \operatorname{th}(t) \cos \varphi, 2 \frac{1}{\operatorname{ch}^2(t)} \operatorname{th}(t) \sin \varphi, \frac{\operatorname{ch}^3(t) - 2 \operatorname{sh}^2(t) \operatorname{ch}(t)}{\operatorname{ch}^4(t)} \right)
\end{aligned}$$

$$\Rightarrow L = \langle \frac{\partial^2 F}{\partial t^2}, \bar{n} \rangle = ?$$

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 F}{\partial t \partial \varphi} = (?, ?, ?)$$

$$\Rightarrow M = \langle \frac{\partial^2 F}{\partial t \partial \varphi}, \bar{n} \rangle = ?$$

$$\frac{\partial F}{\partial \varphi} = (-(t - \operatorname{th}(t)) \sin \varphi, (t - \operatorname{th}(t)) \cos \varphi, 0)$$

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2} = (?, ?, ?)$$

$$\Rightarrow N = \langle \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2}, \bar{n} \rangle = ?$$

$$\Rightarrow \Pi(F) = \begin{pmatrix} ? & ? \\ ? & ? \end{pmatrix}$$

$$K = \frac{\det \Pi(F)}{\det I(F)} = ? - \text{кривизна Гаусса}$$

0.7 (08.10.19) Практика совместно с 242

Пример (стереографическая проекция)

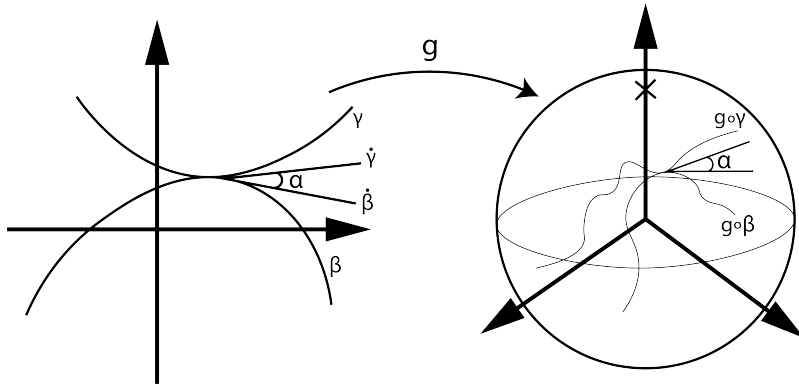
$$f : S^2 - \{(0, 0, 1)\} \rightarrow \mathbb{R}^2, \quad (x, y, z) \mapsto \left(\frac{x}{1-z}, \frac{y}{1-z} \right)$$

$$\text{где } S^2 = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid x^2 + y^2 + z^2 = 1\}$$

1. Найдите $f^{-1} = g : \mathbb{R}^2 \rightarrow S^2 - \{N\}$ (полюс)
2. Доказать, что g сохраняет углы
3. Найдите $I(F)$ (п.ф.ф.) g

здесь должен быть рисунок, но его нет, как и смысла

Решение



1. Надо найти g : $f \circ g = \text{id}$ и $g \circ f = \text{id}$

$$a = \frac{x}{1-z}, \quad b = \frac{y}{1-z}, \quad x^2 + y^2 + z^2 = 1$$

Найдем из уравнений x, y, z :

$$z = \frac{a^2 + b^2 - 1}{a^2 + b^2 + 1}, \quad x = \frac{2a}{a^2 + b^2 + 1}, \quad y = \frac{2b}{a^2 + b^2 + 1}$$

2. Вспомним, что

$$\cos(\alpha) = \frac{\langle \dot{\gamma}, \dot{\beta} \rangle}{|\dot{\gamma}| |\dot{\beta}|}, \quad \cos(\theta) = \frac{\langle \tilde{\gamma}, \tilde{\beta} \rangle}{|\tilde{\gamma}| |\tilde{\beta}|}$$

$$\tilde{\gamma} = g \circ \gamma, \quad \tilde{\beta} = g \circ \beta$$

$$\tilde{\gamma} = \left(\frac{2\gamma_1}{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + 1}, \frac{2\gamma_2}{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + 1}, \frac{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 - 1}{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + 1} \right)$$

Аналогично другие. Можно было бы посчитать всё и подставить

$$\frac{d}{dt} \tilde{\gamma} = \frac{\partial g}{\partial a} \dot{\gamma}_1 + \frac{\partial g}{\partial b} \dot{\gamma}_2$$

Обозначим $\star = a^2 + b^2 + 1$

$$\frac{\partial g}{\partial a} = \left(\frac{2\star - 4a^2}{\star^2}, \frac{2\star - 4b^2}{\star^2}, \frac{4b}{\star^2} \right)$$

$$I(F) = \begin{pmatrix} \langle \frac{\partial g}{\partial a}, \frac{\partial g}{\partial a} \rangle^{\rho} & \langle \frac{\partial g}{\partial b}, \frac{\partial g}{\partial a} \rangle^0 \\ \langle \frac{\partial g}{\partial a}, \frac{\partial g}{\partial b} \rangle^0 & \langle \frac{\partial g}{\partial b}, \frac{\partial g}{\partial b} \rangle^{\rho} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho & 0 \\ 0 & \rho \end{pmatrix}$$

То есть на самом деле:

$$\begin{aligned}\cos(\theta) &= \frac{\langle \dot{\tilde{\gamma}}, \dot{\tilde{\beta}} \rangle}{|\dot{\tilde{\gamma}}||\dot{\tilde{\beta}}|} = \frac{\langle \dot{\gamma}, I\dot{\beta} \rangle}{\sqrt{\langle \dot{\gamma}, I\dot{\gamma} \rangle} \sqrt{\langle \dot{\beta}, I\dot{\beta} \rangle}} \\ \tilde{\gamma} &= \left\langle \frac{\partial g}{\partial a} \dot{\gamma}_1 + \frac{\partial g}{\partial b} \dot{\gamma}_2, \frac{\partial g}{\partial a} \dot{\gamma}_1 + \frac{\partial g}{\partial b} \dot{\gamma}_2 \right\rangle \\ \langle \tilde{\gamma}, \tilde{\gamma} \rangle &= \left\langle \frac{\partial g}{\partial a}, \frac{\partial g}{\partial a} \right\rangle \dot{\gamma}_1^2 + 2 \left\langle \frac{\partial g}{\partial a}, \frac{\partial g}{\partial b} \right\rangle \dot{\gamma}_1 \dot{\gamma}_2 + \left\langle \frac{\partial g}{\partial b}, \frac{\partial g}{\partial b} \right\rangle \dot{\gamma}_2^2 \\ &= \left\langle \begin{pmatrix} \dot{\gamma}_1 \\ \dot{\gamma}_2 \end{pmatrix}, I \begin{pmatrix} \dot{\gamma}_1 \\ \dot{\gamma}_2 \end{pmatrix} \right\rangle \\ \frac{\rho \langle \dot{\gamma}, \dot{\beta} \rangle}{\sqrt{\rho} |\dot{\gamma}| \sqrt{\rho} |\dot{\beta}|} &= \frac{\rho \langle \dot{\gamma}, \dot{\beta} \rangle}{\rho |\dot{\gamma}| |\dot{\beta}|} = \frac{\langle \dot{\gamma}, \dot{\beta} \rangle}{|\dot{\gamma}| |\dot{\beta}|} = \cos \alpha\end{aligned}$$

3. см. выше

0.8 (15.10.19) Практика совместно с 242 х2

Пример

$$f: \mathbb{R}_+^* \times (0, 2\pi) \rightarrow \mathbb{R}^3$$

$$u, v \mapsto \left(\frac{\cos v}{\operatorname{ch} u}, \frac{\sin v}{\operatorname{ch} u}, u - \operatorname{th} u \right)$$

1. Найдите $I(F)$
2. Найдите $\Pi(F)$
3. Найдите кривизну Гаусса
4. Найдите площадь поверхности

Решение

$$\frac{\partial f}{\partial u} = \left(-\frac{\cos v \operatorname{sh} u}{\operatorname{ch}^2 u}, -\frac{\sin v \operatorname{sh} u}{\operatorname{ch}^2 u}, \overbrace{1 - \frac{1}{\operatorname{ch}^2 u}}^{\operatorname{th}^2 u} \right)$$

$$\frac{\partial f}{\partial v} = \left(-\frac{\sin v}{\operatorname{ch} u}, \frac{\cos v}{\operatorname{ch} u}, 0 \right)$$

$$\langle \frac{\partial f}{\partial u}, \frac{\partial f}{\partial u} \rangle = \text{th}^2$$

$$\langle \frac{\partial f}{\partial u}, \frac{\partial f}{\partial v} \rangle = 0$$

$$\langle \frac{\partial f}{\partial v}, \frac{\partial f}{\partial v} \rangle = \frac{1}{\text{ch}^2 u}$$

$$\Rightarrow \text{I}(F) = \begin{pmatrix} \text{th}^2 u & 0 \\ 0 & \frac{1}{\text{ch}^2 u} \end{pmatrix}$$

$$\frac{\partial F}{\partial v} \times \frac{\partial F}{\partial u} = \left(-\cos v \frac{\text{th}^2}{\text{ch} u}, \sin \frac{\text{th}^2 u}{\text{ch} u}, -\frac{\text{sh} u}{\text{ch}^3 u} \right)$$

$$\left| \frac{\partial F}{\partial v} \times \frac{\partial F}{\partial u} \right| = \frac{\text{th} u}{\text{ch} u}$$

$$n = \frac{\frac{\partial F}{\partial v} \times \frac{\partial F}{\partial u}}{\left| \frac{\partial F}{\partial v} \times \frac{\partial F}{\partial u} \right|} = \left(-\text{th} u \cos v, -\text{th} u \sin v, -\frac{1}{\text{ch} u} \right)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial v^2} = \left(-\frac{\cos v}{\text{ch} u}, -\frac{\sin v}{\text{ch} u}, 0 \right)$$

$$L = \langle \frac{\partial^2 F}{\partial v^2}, \bar{n} \rangle = -\frac{\text{sh} u}{\text{ch}^2 u}$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial v \partial u} = \left(, , 0 \right)$$

$$M = \langle \frac{\partial^2 F}{\partial v \partial u}, \bar{n} \rangle = 0$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial u^2} = \left(-\cos v \frac{1 - \text{sh}^2 u}{\text{ch}^3 u}, -\sin v \right)$$

$$N = \langle \frac{\partial^2 F}{\partial u^2}, \bar{n} \rangle = \frac{\text{sh} u}{\text{ch}^2 u}$$

$$\Rightarrow \text{II}(F) = \begin{pmatrix} -\frac{\text{sh} u}{\text{ch}^2 u} u & 0 \\ 0 & \frac{\text{sh} u}{\text{ch}^2 u} \end{pmatrix}$$

$$A(S) = 2 \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{\text{sh} u}{\text{ch}^2 u} du dv = 2 \cdot 2\pi \int_0^\infty \frac{\text{sh} u}{\text{ch}^2 u} du = 4\pi$$

Пример

$$F : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$$

$$(u, v) \mapsto (F_1(u, v), F_2(u, v), F_3(u, v))$$

При каких условиях на $I(F)$ F "сохраняет расстояние" (доказать)

Решение

$$l(\gamma) \stackrel{?}{=} l(F \circ \gamma) = \int_0^1 \|(F \circ \gamma)\| dt$$

$$\Rightarrow \int_0^1 \langle \dot{\gamma}, \dot{\gamma} \rangle^{\frac{1}{2}} dt \stackrel{\forall \gamma}{=} \int_0^1 \langle \dot{\gamma}, I(F) \dot{\gamma} \rangle dt$$

$$\text{т.к. } \langle \dot{\gamma}, \dot{\gamma} \rangle = \langle \dot{\gamma}, I(F) \dot{\gamma} \rangle \quad \forall \gamma$$

$$I(F) = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} - \text{ортогональная}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} c = b \\ a^2 + c^2 = 1 \\ b^2 + d^2 = 1 \\ ab + cd = 0 \\ ad - cb = \pm 1 \end{cases}$$

$$\text{т.к. } a, d > 0 \Rightarrow I(F) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Пример

Сделаем цилиндр из плоскости с сохранением расстояния

$$u, v \xrightarrow{F} (\cos v, \sin v, u)$$

$$I(F) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

0.9 (22.10.19) Завершаем тему

Пример

$\varphi : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$, φ - регулярная поверхность

Такая что $\forall u \in \mathbb{R}^2$ (отк)

Площадь: $\mathcal{A}(\varphi(u)) = \mathcal{A}(u)$

1. Доказать, что $\det(I(\varphi)) = 1$
2. Доказать, что φ сохраняет углы и площади $\Leftrightarrow \varphi$ сохраняет расстояние

Док-во

1. $\iint_U \sqrt{\det I(\varphi)} du dv = \mathcal{A}(u) = \iint_u du dv \quad \forall u \in \mathbb{R}^2 \text{ отк.}$

$$\iint_u (\sqrt{\det I(\varphi)} - 1) du dv = 0 \quad \forall u \in \mathbb{R}^2$$

Но $\varphi \in C^1 \Rightarrow \sqrt{\det I(\varphi)} - 1$ непр.

Предположим, что $\sqrt{\det I(\varphi)} - 1 \neq 0 \Rightarrow \exists (u_0, v_0)$ т.ч. $\sqrt{\det I(\varphi)}_{(u_0, v_0)} - 1 \neq 0$

$$\Rightarrow \exists V \ni (u_0, v_0) \text{ т.ч. } \forall (u, v) \in V, \quad \sqrt{\det I(\varphi)} - 1 \neq 0$$

$$\forall (u, v) \in V \quad \sqrt{\det I(\varphi)} - 1 > 0$$

Тогда $\iint_V \sqrt{\det I(\varphi)} - 1 > 0$ - противоречие

Значит, что $\det I(\varphi) = 1$

2. ???

Замечание

Есть такая теорема:

$$\varphi : (0, 2\pi) \times (0, 2\pi) \rightarrow TOR \subset \mathbb{R}^3$$

$$\varphi \in C^1 \text{ т.ч. } I(\varphi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Опр

$$SU(2) = \left\{ \begin{pmatrix} \alpha & -\bar{\beta} \\ \beta & \bar{\alpha} \end{pmatrix}, \quad \alpha, \beta \in \mathbb{C}, \quad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \right\} \subset \mathbb{C}^4 \cong \mathbb{R}^8$$

Опр

$$S^3 = \{(x, y, z, t) \in \mathbb{R}^4 \mid x^2 + y^2 + z^2 + t^2 = 1\}$$

Пример

Доказать, что $\mathbb{R}^4 \supseteq S^3 \cong SU(2)$

Док-во

Мы можем перейти $SU(2) \rightarrow S^3$, расписав через Re и Im . Получится подобное уравнение как в S^3 , аналогично назад:

$$\varphi : S^3 \rightarrow SU(2) \subset \mathbb{R}^8$$

$$x, y, z, t \rightarrow \begin{pmatrix} x + iy & -z + it \\ z + it & x - iy \end{pmatrix}$$

$$\tilde{\varphi} : \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^8$$

Непрерывная функция компактна, значит Хаусдорф

0.10 (29.10.19) Кривые и поверхности

Задача

$$f : U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R} \quad f \in C^2$$

$$S = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid z = f(x, y)\}$$

Найти кривизну Гаусса

Док-во

$$V \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$$

$(x, y) \xrightarrow{\varphi} (x, y, f(x, y))$ почему это рег повер-ть?

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \frac{\partial f}{\partial x} \end{pmatrix} \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{pmatrix} \quad - \text{ЛН} \Rightarrow \text{поверхность регулярная}$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = 1 + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 1 + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y \partial x} = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}$$

$$K = \frac{\det(\text{II})}{\det(\text{I})}$$

$$I(f) = \begin{pmatrix} 1 + f_x^2 & f_x f_x \\ f_x f_y & 1 + f_y^2 \end{pmatrix}$$

$$\text{II}(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2}} \begin{pmatrix} f_{xx} & f_{xy} \\ f_{xy} & f_{yy} \end{pmatrix}$$

$$K = \frac{f_{xx}f_{yy} - f_{xy}^2}{(1 + f_x^2 + f_y^2)^2}$$

Задача

$$f: V \subset \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$\gamma: \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 | f(x) = y\}$$

Найти кривизну γ

Напоминание

$$\gamma: (0, 1) \rightarrow \mathbb{R}^3 \quad \gamma \in C^2$$

$$t \mapsto (\gamma_1(t), \gamma_2(t), \gamma_3(t))$$

$$|\dot{\gamma}| = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \gamma_3^2} = 1$$

Тогда $\kappa(t) = |\ddot{\gamma}(t)|$ - кривизна

Док-во

Мы знаем, что для любой кривой есть нат. парам.

$$\gamma(t) = (t, f(t)) \quad \gamma: [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}^3$$

$$\exists \varphi: [0, l(\gamma)] \rightarrow [0, 1]$$

$$s \mapsto \varphi(s) = t$$

т.ч. $\tilde{\gamma} = \gamma \circ \varphi(s)$ т.ч. $|\dot{\tilde{\gamma}}(s)| = 1 \quad \forall s \in [0, l(\gamma)]$

$$\tilde{\gamma}(s) = (\varphi(s), f(\varphi(s)))$$

$$\dot{\tilde{\gamma}} = (\dot{\varphi}(s), \dot{\varphi}(s)f'(\varphi(s)))$$

мы знаем, что $\dot{\varphi}^2 + \dot{\varphi}^2 f'^2(\varphi(s)) = 1$,

$$\text{т.е. } \dot{\varphi}^2 = \frac{1}{1 + f'_{(\varphi(s))}{}^2}$$

$$K(s) = \left| \ddot{\gamma} \right|$$

$$\ddot{\gamma} = (\ddot{\varphi}(s), \ddot{\varphi} f'(\varphi(s)) + \dot{\varphi}^2 f''\varphi(s))$$

(1)
(2)

$$\ddot{\varphi} = ?$$

$$\ddot{\varphi} = -\frac{f'_{\varphi(s)} f''_{\varphi(s)}}{(1 + f'_{(\varphi(s))}{}^2)^2}$$

$$(2) = \left(\frac{f''}{1 + f'^2} - \frac{f'^2 f''}{(1 + f'^2)^2} \right)$$

$$(2)^2 = \frac{f''^2}{(1 + f'^2)^2} - \frac{2f'^2 f''^2}{(1 + f'^2)^3} + \frac{f'^4 f''^2}{(1 + f'^2)^4} =$$

$$= \frac{f''^2}{(1 + f'^2)^2} \left(\frac{(1 + f'^2)^2 - 2f'^2(1 + f'^2) + f'^4}{(1 + f'^2)^2} \right) = \frac{f''^2}{(1 + f'^2)^4}$$

$$(1)^2 = \frac{f'^2 f''^2}{(1 + f'^2)^4}$$

$$\left| \ddot{\gamma} \right| = \frac{|f''| \sqrt{f'^2 + 1}}{(1 + f'^2)} = \frac{|f''|}{(1 + f'^2)^{3/2}}$$

0.11 (05.11.19) ???

Задача

$$\varphi : U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3 \quad \text{регулярная, } C^2$$

u, v

$$\mathcal{F} = \Gamma^{-1} \Pi$$

$$\Gamma = \begin{pmatrix} E & F \\ F & G \end{pmatrix} \quad \Pi = \begin{pmatrix} P & Q \\ Q & R \end{pmatrix}$$

Главные кривизны k_1, k_2 - это собственные числа матрицы \mathcal{F}

Доказать, что:

$$1. \quad K = k_1 k_2$$

$$2. H = \frac{k_1+k_2}{2} = \frac{ER+GP-2FQ}{2(EG-F^2)}$$

Решение

$$\det \mathcal{F} = \det I^{-1} \det II = (\det I)^{-1} \det II = \det K$$

$$??? \text{ В жордановом базисе } \mathcal{F} = PDP \quad K = \det P \det D(\det P)^{-1}$$

Задача

$$\varphi_v = \frac{\partial \varphi}{\partial u}$$

$$N = \frac{\varphi_u \times \varphi_v}{|\varphi_u \times \varphi_v|}$$

$$\varphi_{uu} = \Gamma_{11}^1 \varphi_u + \Gamma_{11}^2 \varphi_v + L_1 N$$

$$\varphi_{uv} = \Gamma_{11}^1 \varphi_u + \Gamma_{12}^2 \varphi_v + L_2 N$$

$$\varphi_{vu} = \Gamma_{21}^1 \varphi_u + \Gamma_{21}^2 \varphi_v + L'_2 N$$

$$\varphi_{vv} = \Gamma_{22}^1 \varphi_u + \Gamma_{22}^2 \varphi_v + L_3 N$$

$$\frac{\partial N}{\partial u} = a_{11} \varphi_u + a_{21} \varphi_v + t N$$

$$\frac{\partial N}{\partial v} = a_{12} \varphi_u + a_{22} \varphi_v + s N$$

Доказать, что:

$$t = s = 0$$

$$L_1 = P, \quad L_2 = L'_2 = Q$$

$$L_3 = R$$

$$a_{11} = \frac{QF - PG}{EG - F^2}, \quad a_{12} = \frac{RF - QG}{EG - F^2}$$

$$a_{21} = \frac{PF - QE}{EG - F^2}, \quad a_{22} = \frac{QF - RE}{EG - F^2}$$

Решение

$$P = \langle \varphi_{uu}, N \rangle = L_1 N^2 = L_1$$

Аналогично L_2, L_3

$$\text{Знаем, } \langle N(u, v), N(u, v) \rangle = 1 \quad | \quad \frac{\partial}{\partial u}$$

$$2 < \frac{\partial N}{\partial u}, N \rangle = 0 \quad < \frac{\partial N}{\partial u}, N \rangle = t \Rightarrow t = 0$$

Аналогично с

$$\langle N, \varphi_u \rangle = 0$$

$$\Rightarrow \langle N_u, \varphi_u \rangle + \langle N, \varphi_{uu} \rangle = 0$$

$$\Rightarrow \langle N_v, \varphi_v \rangle + \langle N, \varphi_{vv} \rangle = 0$$

$$\langle N, v \rangle = 0$$

$$\Rightarrow \langle N_u, \varphi_v \rangle + \langle N, \varphi_{vu} \rangle = 0$$

$$\Rightarrow \langle N_v, \varphi_v \rangle + \langle N, \varphi_{vv} \rangle = 0$$

$$-P = a_{11}E + a_{21}F \quad (1)$$

$$-Q = a_{12}E + a_{22}F \quad (2)$$

$$-Q = a_{11}F + a_{21}G \quad (3)$$

$$-R = a_{12}F + a_{22}G \quad (4)$$

$$(1), (3) \Rightarrow a_{11}, a_{21}, \quad (2), (4) \Rightarrow a_{22}, a_{12}$$

0.12 (12.11.19) ???

УТВ

$$K = \frac{\det \Pi}{\det I} \text{ зависит от } \begin{pmatrix} E & F \\ F & G \end{pmatrix} \text{ и } \frac{\partial F}{\partial u} \quad \frac{\partial F}{\partial v}$$

Задача

1. Доказать, что

$$\Gamma_{11}^1 E + \Gamma_{11}^2 F = \frac{1}{2} E_u \quad E_u = \frac{\partial}{\partial u} E$$

$$\Gamma_{11}^1 E + \Gamma_{11}^2 G = F_u - \frac{1}{2} E_v$$

$$\Gamma_{12}^1 E + \Gamma_{12}^2 F = \frac{1}{2} E_v$$

$$\Gamma_{12}^1 F + \Gamma_{12}^2 G = \frac{1}{2} G_u$$

$$\Gamma_{22}^1 E + \Gamma_{22}^2 F = F_v - \frac{1}{2} G_u$$

$$\Gamma_{22}^1 F + \Gamma_{22}^2 G = \frac{1}{2} G_v$$

2. Доказать, что Γ_{ij}^k зависят от $E, F, G, E_u, E_v, F_u, F_v, G_u, G_v$

$$I = \begin{pmatrix} E & F \\ F & G \end{pmatrix}$$

$$II = \begin{pmatrix} P & Q \\ Q & R \end{pmatrix}$$

$$\varphi_{uu} = \Gamma_{11}^1 \varphi_u + \Gamma_{11}^2 \varphi_v + PN$$

$$\langle \varphi_{uu}, \varphi_u \rangle = \Gamma_{11}^1 \underbrace{\langle \varphi_u, \varphi_u \rangle}_E + \Gamma_{11}^2 \underbrace{\langle \varphi_v, \varphi_u \rangle}_F$$

$$\frac{1}{2}E_u = \langle \varphi_{uu}, \varphi_u \rangle = \Gamma_{11}^1 E + \Gamma_{11}^2 F$$

$$E_u = \frac{\partial}{\partial u} \langle \varphi_u, \varphi_u \rangle = 2 \langle \varphi_{uu}, \varphi_u \rangle$$

$$\langle \varphi_{uu}, \varphi_v \rangle = \Gamma_{11}^1 F + \Gamma_{11}^2 G$$

$$F'_u - \frac{1}{2}E'_v = \langle \varphi''_{uu}, \varphi'_v \rangle + \langle \varphi'_u, \varphi''_{uv} \rangle - \frac{1}{2}(\langle \varphi''_{uv}, \varphi'_u \rangle + \langle \varphi'_u, \varphi''_{uv} \rangle)$$

$$EG - F^2 \neq 0 \quad \text{т.к. опред. I формы}$$

Γ_{ij}^k выражаются из линейной системы из п.1

Задача

$$\varphi \in C^3$$

$$\frac{\partial}{\partial v} \varphi_{uu} = \frac{\partial}{\partial u} \varphi_{uv}$$

Доказать, что

$$\Gamma_{11}^1 \Gamma_{12}^1 + \Gamma_{11}^2 \Gamma_{22}^1 + Pa_{12} + \partial_v \Gamma_{11}^1 = \Gamma_{12}^1 \Gamma_{11}^1 + \Gamma_{12}^2 \Gamma_{12}^1 + Qa_{11} + \partial_u \Gamma_{12}^1 \quad (*)$$

$$\frac{\partial N}{\partial u} = a_{11} \varphi_u + a_{21} \varphi_v$$

$$\frac{\partial N}{\partial v} = a_{12} \varphi_u + a_{22} \varphi_v$$

$$\partial\varphi_{uu} = \partial_v\Gamma_{11}^1\varphi_u + \Gamma_{11}^1\varphi_{uv} + \partial_v\Gamma_{11}^2\varphi_v + \Gamma_{11}^2\varphi_{vv} + P_vN + PN_v$$

$$N_v = a_{12}\varphi_u = a_{22}\varphi_v$$

$$\varphi_{uv} = \Gamma_{12}^1\varphi_u + \Gamma_{12}^2\varphi_v + QN$$

$$\varphi_{vv} = \Gamma_{22}^1\varphi_u + \Gamma_{22}^2\varphi_v + RN$$

$$\{\partial_v\Gamma_{11}^1 + \Gamma_{11}^1\Gamma_{12}^1 + \Gamma_{11}^2\Gamma_{22}^1 + Pa_{12}\}\varphi_u$$

$$\varphi_uv = \Gamma_{12}^1\varphi_u + \Gamma_{12}^2\varphi_v + QN$$

$$\partial_u\varphi_{uv} = \partial_u\Gamma_{12}^1 + \Gamma_{12}^1\varphi_{uu} + \partial_u\Gamma_{12}^2\varphi_v + \Gamma_{12}^2\varphi_{uv} + Q_uN + QN_u$$

$$\partial\Gamma_{12}^1 + \Gamma_{12}^1\Gamma_{11}^1 + \Gamma_{12}^2\Gamma_{12}^1 + Qa_{11}$$

$$(**) \begin{cases} a_{11} = \frac{QF-PG}{EG-F^2} \\ a_{12} = \frac{RF-QG}{EG-P^2} \end{cases}$$

$$(*)+(**) \Rightarrow \partial_u\Gamma_{12}^2-\partial_v\Gamma_{11}^2+\Gamma_{12}^1\Gamma_{11}^2-\Gamma_{11}^1\Gamma_{21}^2-\Gamma_{11}^2\Gamma_{22}^2+\Gamma_{12}^2\Gamma_{12}^2 = -EK(\text{крив. Гаусса})$$

../../template/template

(19.11.19) ???

Опр

$$H = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid y > 0\}$$

$$\text{предположим, что } I_{(x,y)} = \begin{pmatrix} \frac{1}{y^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{y^2} \end{pmatrix}$$

Задача (1)

$$1. \ \Gamma_{ij}^k \quad i, j, k \in \{1, 2\}$$

2. Найти K

Решение

$$\Gamma_{11}^2 = -\Gamma_{12}^1 = -\Gamma_{21}^1 = -\Gamma_{22}^2 = \frac{1}{y}$$

Все ост. 0

$$K = \frac{0 + \frac{1}{y^2} - \frac{1}{y} \frac{1}{y} + 0 + \frac{1}{y} \frac{1}{y} + 0}{-\frac{1}{y^2}} = \frac{\frac{1}{y^2}}{-\frac{1}{y^2}} = -1$$

Задача (2)

Пусть $\gamma : [0, 1] \rightarrow H \quad C^2$

$$\gamma(0) = a$$

$$\gamma(1) = b$$

$$t \rightarrow \gamma(t) = (\gamma_1(t), \gamma_2(t))$$

Решить $\ddot{\gamma}$

$$k = 1, 2$$

$$\begin{cases} \ddot{\gamma}_k + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \Gamma_{ij}^k \dot{\gamma}_i \dot{\gamma}_j = 0 \\ \left\langle \begin{pmatrix} \dot{\gamma}_1 \\ \dot{\gamma}_2 \end{pmatrix}, I_{(\gamma_1(t), \gamma_2(t))} \begin{pmatrix} \dot{\gamma}_1 \\ \dot{\gamma}_2 \end{pmatrix} \right\rangle = 1 \end{cases}$$

Решение

$$\begin{cases} \ddot{\gamma}_1 - \frac{2}{\gamma_2} \dot{\gamma}_1 \dot{\gamma}_2 = 0 \\ \ddot{\gamma}_2 - \frac{1}{\gamma_2} (\dot{\gamma}_1^2 - \dot{\gamma}_2^2) = 0 \end{cases}$$

$$\dot{\gamma}_1^2 + \dot{\gamma}_2^2 = \gamma_2^2$$

$$l_{stand}(\gamma) = \int_0^1 |\dot{\gamma}| dt$$

$$l^I(\gamma) = \int_0^1 \sqrt{\left\langle \begin{pmatrix} \dot{\gamma}_1 \\ \dot{\gamma}_2 \end{pmatrix}, I_{\gamma(t)} \begin{pmatrix} \dot{\gamma}_1 \\ \dot{\gamma}_2 \end{pmatrix} \right\rangle} dt$$

$$C^2([0, 1], H) \subset C^2([0, 1], \mathbb{R}^2)$$

$$L : C_{a,b}^2([0, 1], H) \rightarrow \mathbb{R}$$

$$\gamma \rightarrow L(\gamma) = \int_0^1 \sqrt{\langle \rangle}$$

$$\frac{dL}{d\gamma} = 0 \quad \Leftrightarrow \begin{cases} \ddot{\gamma}_1 - \frac{2}{\gamma_2} \dot{\gamma}_1 \dot{\gamma}_2 = 0 \\ \ddot{\gamma}_2 - \frac{1}{\gamma_2} (\dot{\gamma}_1^2 - \dot{\gamma}_2^2) = 0 \end{cases}$$

Если у нас есть решение системы, то оно выгл. вот так

$$\dot{\gamma}_1 = \alpha \gamma_2^2 \quad \alpha = \text{const} \quad \alpha \in \mathbb{R}$$

$$\alpha = 0 \Rightarrow \gamma_1 = \text{const}$$

$$\ddot{\gamma}_2 = \frac{1}{\gamma_2}$$

$$\dot{\gamma}_2^2 = \gamma_2 \Rightarrow \gamma_2(t) = C e^{\pm t} \quad C > 0$$

$$\gamma_1(t) = \text{const}$$

$$\gamma_2(t) = C e^{\pm t}$$

$$\alpha \neq 0$$

$$\dot{\gamma}_1 = \alpha \gamma_2^2$$

$$\dot{\gamma}_2 = \pm \gamma_2 \sqrt{1 - \alpha^2 \gamma_2^2}$$

$$\gamma_1 = \frac{\tanh(t)}{\alpha}$$

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{1}{\alpha} \frac{1}{\text{ch}(t)^2} = \alpha \gamma_2^2 \Rightarrow \gamma_2^2 = \frac{1}{\alpha^2 \text{ch}^2(t)} \quad \gamma_2(t) = \frac{1}{\alpha \text{ch}(t)}$$

$$(\alpha \gamma_1) + (\alpha \gamma_2)^2 = \text{th}^2 + \frac{1}{\text{ch}^2} = \frac{\text{sh}^2}{\text{ch}^2} + \frac{1}{\text{ch}^2} = 1$$

$$\gamma_1^2 + \gamma_2^2 = \frac{1}{\alpha^2}$$