

# Коллоквиум 1

Александр Богданов  
[Telegram](#)

Денис Козлов  
[Telegram](#)

Версия от 15.10.2020 13:28

## 7. Сформулируйте и докажите признак Лобачевского-Коши

**Утверждение 0.1.** 1 Пусть  $a_n \downarrow$ . Рассмотрим ряды:

$$\sum a_n \quad (1) \quad \text{и} \quad \sum 2^n \cdot a_{2^n} \quad (2)$$

Тогда ряды (1) и (2) ведут себя одинаково

*Доказательство.*

$$\begin{aligned} 2^m \text{ слаг.: } a_1 + \underbrace{a_2}_{\substack{\leq a_1 \\ \geq a_2}} + \underbrace{a_3 + a_4}_{\substack{\leq 2a_2 \\ \geq 2a_4}} + \underbrace{a_5 + a_6 + a_7 + a_8}_{\substack{\leq 4a_4 \\ \geq 4a_8}} + \dots + \underbrace{a_{2^{m-1}+1} + a_{2^{m-1}+2} + \dots + a_{2^{m-1}+2^{m-1}}}_{\substack{\leq 2^{m-1} \cdot a_{2^{m-1}} \\ \geq \frac{1}{2} \cdot 2^m \cdot a_{2^m}}} \\ a_1 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^m 2^n a_{2^n} \leq \sum_{n=1}^{2^m} a_n \leq a_1 + \sum_{n=0}^{m-1} 2^n \cdot a_{2^n} \end{aligned}$$

Левая часть – сумма нижних оценок, правая – сумма верхних

■

**17. Приведите пример положительного ряда, вопрос о поведении которого не может быть решён с помощью признака Даламбера, но может быть решён с помощью радикального признака Коши (с обоснованием)**

*Пример.*

$$0 < a < 1 < b$$

$$1 + a + ab + a^2b + a^2b^2 + \dots = \sum_{n=1}^{\infty} a^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} \cdot b^{\lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor}$$

$$\frac{a_{n+1}}{a_n} = \begin{cases} a, & n - \text{нечёт.} \\ b, & n - \text{чёт.} \end{cases} \implies \overline{\lim} \frac{a_{n+1}}{a_n} = b > 1, \underline{\lim} \frac{a_{n+1}}{a_n} = a < 1$$

– признак Даламбера не работает

$$\sqrt[n]{a_n} = \begin{cases} a^{\frac{1}{2}} \cdot b^{\frac{n-2}{2n}}, & n - \text{чёт.} \\ a^{\frac{n-1}{2n}} \cdot b^{\frac{n-1}{2n}}, & n - \text{нечёт.} \end{cases} \implies \lim \sqrt[n]{a_n} = \sqrt{ab}$$

Если  $a \neq b$ , то радикальный признак работает

**27. Что такое группировка членов ряда? Докажите, что любой ряд, полученный из сходящегося группировкой его членов, сходится и имеет ту же сумму.**

**Определение 1.** Говорят, что ряд  $\sum A_k$  получен из ряда  $\sum a_n$  группировкой членов, если  $\exists n_1, n_2, \dots: 1 \leq n_1 < n_2 < \dots$  такие, что

$$A_1 = a_1 + a_2 + \dots + a_{n_1}$$

$$A_2 = a_{n_1+1} + a_{n_1+2} + \dots + a_{n_2}$$

**Утверждение 0.2.** Если ряд  $\sum a_n$  сходится, то ряд  $\sum A_k$  тоже сходится, причём к той же сумме.

*Доказательство.* Последовательность частичных сумм  $S'_k = A_1 + \dots + A_k$  ряда  $\sum A_k$  явл. подпоследовательностью последовательности частичных сумм  $S_n = a_1 + \dots + a_n$  ряда  $\sum a_n$  ■

**37. Сформулируйте свойство абсолютно сходящегося ряда, связанное с перестановкой членов.**

**Утверждение 0.3.** Сумма абс. сходящегося ряда не меняется при любой перестановке его членов

**47. Напишите произведение Валлиса и его значение (формула Валлиса). Вычисление каких интегралов приводит к этой формуле?**

**Утверждение 0.4.** Произведение Валлиса

$$\prod_{n=1}^{\infty} \frac{4n^2}{4n^2 - 1} = \frac{\pi}{2} - \text{формула Валлиса}$$

$$- \text{получается из анализа интегралов } \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^4 x dx$$

**57. Пусть функциональная последовательность  $\{f_n\}$  сходится равномерно на множестве  $D$  к предельной функции  $f$ , отделимой от нуля (т.е.  $\inf_{x \in D} |f(x)| > 0$ ), то функциональная**

**последовательность  $\frac{1}{f_n}$  сходится равномерно на  $D$  к  $\frac{1}{f}$ .**

*Доказательство.*

$$\left\| \frac{1}{f_n} - \frac{1}{f} \right\| = \left\| \frac{f_n - f}{f_n \cdot f} \right\| = \sup_{x \in D} \left| \frac{f_n - f}{f_n \cdot f} \right| \leq \sup_{x \in D} \frac{\varepsilon}{|f_n \cdot f|}$$

т.к.  $\|f_n - f\| \leq \varepsilon$  при  $n \geq N(\varepsilon)$

$$\inf |f(x)| = m > 0 \implies |f(x)| \geq m \forall x \in D$$

Если  $\varepsilon < m/2$ , то  $|f_n| \geq |f| - |f_n - f| \geq m - \varepsilon \geq m/2$

$$\frac{1}{|f_n|} \leq \frac{1}{m - \varepsilon}; \quad \frac{1}{|f|} \leq \frac{1}{m}$$

$$\leq \frac{\varepsilon}{(m - \varepsilon)m} \leq \frac{\varepsilon}{m/2 \cdot m}$$

■

**67. Сформулируйте теорему о почленном интегрировании функциональной последовательности.**

**Утверждение 0.5.**

$$-\infty < a < b < \infty, \quad D = [a; b]$$

Пусть  $f_n$  непрерывна на  $D$ ,  $f_n \xrightarrow{D} f \implies f$  непр. на  $D$ )

$$\text{Тогда: } \int_a^x f_n(t) dt \xrightarrow{D} \int_a^x f(t) dt,$$

$$\text{т.е. } \int_a^x \lim_{n \rightarrow \infty} f_n(t) dt = \lim_{n \rightarrow \infty} \int_a^x f_n(t) dt$$