高等学校教学用书

数学分析習題集

Б. П. 吉米多維奇著
李 荣 凍 譯

人民教育出版社

本書系根据苏联国立科学技术理論書籍出版社(Гостехиздат)出版的吉米多維奇(Б. П. Демидович)著"数学分析習題集"(Сборник задач и упражнений по математическому анализу)初版譯出的，这次中文版是照原書第三版(1956年)修訂的。原書經苏联高等教育部审定为綜合性大学及师范学院数理系教学參考書。

数学分析习題集

Б. П. 吉米多維奇著

李荣涑譯

北京市书刊出版业營业許可証出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

上海市印刷四厂印裝

新华书店上海发行所发行

各地新华书店經售

統一书号K13010·398 开本850×1168 1/32 印張18 1/16

字數433,000 印數51,001—61,000 定价(6)¥1.70

1953年8月商务初版(共印10,500册)

1958年6月新1版(修訂本) 1963年4月上海第9次印刷

第三版序言

在这第三版基本上沒有什么改变，仅对个别問題的叙述更加确切并改正了答案中的一些錯誤。

我对于 И. А. 瓦因什金及 М. Л. 斯摩尔揚斯基兩位副教授协助校正答案在此表示衷心的感謝。

Б. П. 吉米多維奇

莫斯科 1956 年

第二版序言

在这第二版中接受了許多教师的意見，增加很多有关数学分析各主要章节的計算性的習題。增加的習題和例題有一千以上，大部份是关于求極限、微分法、不定积分与定积分、級数与变量代換的問題。同时根据各种考虑，删去了一些題目。由于材料叙述的方便在第四与第五兩章內改变了个别几节的先后次序。此外，在習題集中某些地方的标題也更明确了。与从前一样，在習題集中特别注意措辞的准确性，并詳細地說明某些公式成立的条件。为了使用的方便，在習題集里采用了問題的統一編号。在書末添有附录，其中包含重要常数及最常用的函数表。

国立莫斯科（罗蒙洛索夫）大学数学分析教研室主任 Н. Д. 阿伊任什达特及 З. М. 克什克拉副教授預先校閱第二版的手稿，特此志謝。

Б. П. 吉米多維奇

1953 年于莫斯科

目　录

第二編　多变量函数

附　　录

第一編　單变量函数

第一章　分析引論

§1. 实数

1°. 数学归納法　为了証明某定理对任意的自然数n为眞，只須証明下面兩点就够了:(1)这定理对$n=1$为眞,(2)設这定理对任何的一个自然数n为眞,則它对其次的一自然数$n+1$也为眞。

2°. 分割　假設分有理数为A和B兩类,使其滿足于下列条件:(1)兩类均非空集,(2)每一个有理数必屬于一类，且仅屬于一类,(3)屬于A类(下类)的任一数小于屬于B类(上类)的任何数，这样的一个分类法称为分割。(a)若或是下类A有最大的数，或是上类B有最小的数，則分割A/B确定一个有理数。(б)若A类無最大数，而B类亦無最小数。則分割A/B确定一个無理数。有理数和無理数統称为实数①。

3°. 絕对值　假若x为实数，則用下列条件所确定的非負数$|x|$，称为x的絕对值:

$$|x|=\begin{cases} x, & \text{若 } x\geqslant 0, \\ -x, & \text{若 } x<0。\end{cases}$$

对于任何的实数x和y,有以下的不等式成立:

$$|x|-|y|\leqslant|x+y|\leqslant|x|+|y|。$$

4°. 上确界和下确界　設$X=\{x\}$为实数的有界集合。若:

(1)每一个$x\in X$②滿足不等式

$$x\geqslant m;$$

① 以后若沒有相反的附帶說明,数这个字我們將理解为实数。

② 符号$x\in X$表示x屬于集合X。

(2)对于任何的$\varepsilon>0$，存在有$x'\in X$，使

$$x'<m+\varepsilon,$$

則数$m=\inf\{x\}$称为集合X的下确界。

同样，若：

(1)每一个$x\in X$满足不等式

$$x\leqslant M,$$

(2)对于任何的$\varepsilon>0$，存在有$x''\in X$，使

$$x''>M-\varepsilon,$$

則数$M=\sup\{x\}$称为集合X的上确界。

若集合X下方無界，則通常說

$$\inf\{x\}=-\infty;$$

若集合X上方無界，則認为

$$\sup\{x\}=+\infty。$$

5°. 絕对誤差和相对誤差 設$a(a\neq 0)$是被測的量的准确数値，而x是这个量的近似值，則

$$\Delta=|x-a|$$

称为絕对誤差，而

$$\delta=\frac{\Delta}{|a|}$$

称为被測的量的相对誤差。

假若x的絕对誤差不超过它的第n个有效数字的單位的一半，則說x有n位准确的数字。

利用数学归納法求証下列等式对任何自然数n皆成立：

1. $1+2+\cdots+n=\dfrac{n(n+1)}{2}$。

2. $1^2+2^2+\cdots+n^2=\dfrac{n(n+1)(2n+1)}{6}$。

3. $1^3+2^3+\cdots+n^3=(1+2+\cdots+n)^2$。

4. $1+2+2^2+\cdots+2^{n-1}=2^n-1$。

5 設$a^{[n]}=a(a-h)\cdots[a-(n-1)h]$及$a^{[0]}=1$。求証

$$(a+b)^{[n]}=\sum_{m=0}^{n}C_n^m a^{[n-m]}b^{[m]},$$

其中 C_n^m 是由 n 个元素中选取 m 个的組合数，由此推出牛頓的二項式公式。

6. 証明貝努里不等式：

$$(1+x_1)(1+x_2)\cdots(1+x_n)\geqslant 1+x_1+x_2+\cdots+x_n,$$

式中 $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 是符号相同且大于 -1 的数。

7. 証明若 $x>-1$，則不等式

$$(1+x)^n\geqslant 1+nx \quad (n>1)$$

为眞，且仅当 $x=0$ 时，等号成立。

8. 証明不等式

$$n!<\left(\frac{n+1}{2}\right)^n \quad 当\ n>1。$$

提示　利用不等式

$$\left(\frac{n+2}{n+1}\right)^{n+1}=\left(1+\frac{1}{n+1}\right)^{n+1}>2 \quad (n=1, 2, \cdots)。$$

9. 証明不等式

$$2!\cdot 4!\cdots(2n)!>[(n+1)!]^n \quad 当\ n>1。$$

10. 証明不等式

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{3}{4}\cdots\frac{2n-1}{2n}<\frac{1}{\sqrt{2n+1}}。$$

11. 設 c 为正整数，而不为整数的平方，且 A/B 为确定实数 $\sqrt{c}$ 的分割，其中 B 类包含所有合于 $b^2>c$ 的正有理数 b，而 A 类包含所有其余的有理数。求証在 A 类中無最大数，而在 B 类中也無最小数。

12. 确定数 $\sqrt[3]{2}$ 的分割 A/B 用下面的方法来作成：A 类包含所有的有理数 a，而 $a^3<2$；B 类包含所有其余的有理数。証明在 A 类中無最大数，而在 B 类中亦無最小数。

13. 作出适当的分割，然后証明等式：

(a) $\sqrt{2}+\sqrt{8}=\sqrt{18}$。

(б) $\sqrt{2}\sqrt{3}=\sqrt{6}$。

14. 建立确定数 $2^{\sqrt{2}}$ 的分割。

15. 求証任何非空且下方有界的数集有下确界，而任何非空且上方有界的数集有上确界。

16. 証明一切有理眞分式 $\frac{m}{n}$(式中 m 及 n 为自然数，且 $0<m<n$)的集合無最小及最大的元素。并求集合的上确界及下确界。

17. 有理数 r 满足不等式

$$r^2<2$$

求这些有理数 r 所成集合的下确界和上确界。

18. 設 $\{-x\}$ 为数的集合，这些数是与 $x\in\{x\}$ 符号相反的数，証明

(a) $\inf\{-x\}=-\sup\{x\}$； (б) $\sup\{-x\}=-\inf\{x\}$。

19. 設 $\{x+y\}$ 为所有 $x+y$ 这些和的集合，其中 $x\in\{x\}$ 及 $y\in\{y\}$，証明等式：

(a) $\inf\{x+y\}=\inf\{x\}+\inf\{y\}$；

(б) $\sup\{x+y\}=\sup\{x\}+\sup\{y\}$。

20. 設 $\{xy\}$ 为所有 xy 乘积的集合，其中 $x\in\{x\}$ 及 $y\in\{y\}$，且 $x\geqslant 0$ 及 $y\geqslant 0$。証明等式：

(a) $\inf\{xy\}=\inf\{x\}\inf\{y\}$； (б) $\sup\{xy\}=\sup\{x\}\sup\{y\}$。

21. 求証不等式：

(a) $|x-y|\geqslant\Big||x|-|y|\Big|$；

(б) $|x+x_1+\cdots+x_n|\geqslant|x|-(|x_1|+\cdots+|x_n|)$。

解不等式：

22. $|x+1|<0.01$。　**23**. $|x-2|\geqslant 10$。

24. $|x|>|x+1|$。　**25**. $|2x-1|<|x-1|$。

26. $|x+2|+|x-2|\leqslant 12$。　**27**. $|x+2|-|x|>1$。

28. $\left||x+1|-|x-1|\right|<1$。 **29.** $|x(1-x)|<0.05$。

30. 証明恒等式

$$\left(\frac{x+|x|}{2}\right)^2+\left(\frac{x-|x|}{2}\right)^2=x^2。$$

31. 当測量長度10厘米时，絕对誤差为0.5毫米；当測量距离500仟米时，絕对誤差等于200米。那种測量較为精确？

32. 設数

$$x=2.3752$$

的相对誤差为1%，試求此数包含若干位准确数字？

33. 数

$$x=12.125$$

包含3位准确数字。試求此数的相对誤差？

34. 矩形的边等于：

$$x=2.50\text{ 厘米 }\pm0.01\text{ 厘米},$$

$$y=4.00\text{ 厘米 }\pm0.02\text{ 厘米}。$$

这个矩形的面积S界于甚么范圍內？設其边長取平均值时，矩形面积的絕对誤差Δ和相对誤差δ为何？

35. 物体的重量$P=12.59$克±0.01克，其体积$v=3.2$厘米^3 ±0.2厘米^3。若对物体的重量和体积都取其平均值，試求物体的比重，并估計比重的絕对誤差和相对誤差。

36. 圓半徑

$$r=7.2\text{ 米 }\pm0.1\text{ 米}。$$

若取$\pi=3.14$，則求出的圓面积的最小相对誤差为何？

37. 对直角平行六面体测得

$$x=24.7\text{ 米 }\pm0.2\text{ 米};$$

$$y=6.5\text{ 米 }\pm0.1\text{ 米};$$

$$z=1.2\text{ 米 }\pm0.1\text{ 米}。$$

这个平行六面体的体积 v 界于甚么范圍內？若测量的各結果都取其平均值，則所求出平行六面体的体积可能有的絕对誤差和相对誤差为何？

38. 测量正方形的边 x，此处 2 米 $<x<3$ 米，应有多小的絕对誤差，才能使此正方形面积有可能精确到 0.001 米^2？

39. 假定矩形每边的長皆不超过 10 米，为了使根据测量所計算出来的面积与原面积之差不超过 0.01 平方厘米，問测量矩形的边 x 与 y 时，許可的絕对誤差 Δ 的值多大？

40. 設 $\delta(x)$ 及 $\delta(y)$ 为数 x 和 y 的相对誤差，$\delta(xy)$ 为数 xy 的相对誤差。求証

$$\delta(xy)\leqslant\delta(x)+\delta(y)+\delta(x)\delta(y)。$$

§2. 敘列的理論

1°. 敘列的極限的概念 假設对于任何的 $\varepsilon>0$，有数 $N=N(\varepsilon)$，使

$$当\ n>N\ 时，\quad |x_n-a|<\varepsilon,$$

則称敘列 $x_1, x_2, \cdots, x_n\cdots$ 有極限 a（或者說，收斂于 a），亦即

$$\lim_{n\to\infty} x_n=a,$$

其中，

$$若\ \lim_{n\to\infty} x_n=0,$$

則称 x_n 为無穷小。

没有極限的敘列，称为發散的。

2°. 極限存在的准則

（1）設

$$y_n\leqslant x_n\leqslant z_n$$

及

$$\lim_{n\to\infty} y_n=\lim_{n\to\infty} z_n=c,$$

則

$$\lim_{n\to\infty} x_n=c。$$

（2）單調而且有界的敘列有極限。

（3）哥西判別法 敘列 $\{x_n\}$ 的極限存在的必要而且充足的条件是：对于

任何的 $\varepsilon>0$，有数 $N=N(\varepsilon)$ 使当 $n>N$ 和 $P>0$ 时 $|x_n-x_{n+p}|<\varepsilon$。

3° 关于叙列的極限的基本定理 設

$$\lim_{n\to\infty} x_n \quad 和 \quad \lim_{n\to\infty} y_n$$

存在，則有：

（1）若 $x_n\leqslant y_n$，則 $\lim\limits_{n\to\infty} x_n\leqslant \lim\limits_{n\to\infty} y_n$，

（2）
$$\lim_{n\to\infty}(x_n\pm y_n)=\lim_{n\to\infty} x_n\pm \lim_{n\to\infty} y_n;$$

（3）
$$\lim_{n\to\infty}(x_n y_n)=\lim_{n\to\infty} x_n \lim_{n\to\infty} y_n;$$

（4）若 $\lim\limits_{n\to\infty} y_n\neq 0$，則 $\lim\limits_{n\to\infty}\dfrac{x_n}{y_n}=\dfrac{\lim\limits_{n\to\infty} x_n}{\lim\limits_{n\to\infty} y_n}$。

4° 数 e 叙列

$$\left(1+\frac{1}{n}\right)^n \quad (n=1,\ 2,\ \cdots)$$

有确定的極限

$$\lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{1}{n}\right)^n=e=2.7182818284\cdots$$

5° 無穷極限 符号

$$\lim_{n\to\infty} x_n=\infty$$

表示对于任何的 $E>0$，有数 $N=N(E)$，使

$$当\ n>N\ 时，\quad |x_n|>E。$$

6° 聚点 設已知叙列 $x_n (n=1,\ 2,\ \cdots)$ 有子叙列

$$x_{p_1},\ x_{p_2},\ \cdots,\ x_{p_n},\ \cdots$$

适合

$$\lim_{n\to\infty} x_{p_n}=\xi,$$

則称数 ξ（或符号 ∞）为已知叙列 $x_n (n=1,\ 2,\ \cdots)$ 的聚点。

一切有界的叙列至少有一个有穷的聚点（波尔查諾-外尔斯特拉斯原理）。若这个聚点是唯一的，則它即为已知叙列的有穷極限。

叙列 x_n 的最小聚点（有穷的或無穷的）

$$\varliminf_{n\to\infty} x_n$$

称为下極限，而它的最大聚点

$$\overline{\lim_{n\to\infty}}\, x_n$$

称为此叙列的上極限。

等式
$$\underline{\lim_{n\to\infty}}\, x_n=\overline{\lim_{n\to\infty}}\, x_n$$

为叙列 x_n 的(有穷或無穷)極限存在的必要而且充分的条件。

41. 設

$$x_n=\frac{n}{n+1} \qquad (n=1,\ 2,\ \cdots)$$

証明

$$\lim_{n\to\infty} x_n=1,$$

卽：对于任一个給定的 $\varepsilon>0$，求数 $N=N(\varepsilon)$ 使得

$$\text{在 } n>N \text{ 时，}\quad |x_n-1|<\varepsilon。$$

填下表：

ε	0.1	0.01	0.001	0.0001	……
N					

42. 假若：

(a) $x_n=\dfrac{(-1)^{n+1}}{n}$；　　(б) $x_n=\dfrac{2n}{n^3+1}$；

(в) $x_n=\dfrac{1}{n!}$；　　(г) $x_n=(-1)^n\cdot 0.999^n$，

对于任何的 $\varepsilon>0$，求出数 $N=N(\varepsilon)$，使

$$\text{当 } n>N \text{ 时，}\quad |x_n|<\varepsilon;$$

而証明 $x_n(n=1,\ 2,\ \cdots)$ 为無穷小(就是說，有極限值为 0)。

对应着上面四种情形，填下表：

ε	0.1	0.01	0.001	……
N				

43. 証明叙列

(a) $x_n=(-1)^n n$, (б) $x_n=2^{\sqrt{n}}$, (в) $x_n=\lg(\lg n)$ $(n\geqslant 2)$

当 $n\to\infty$ 时,有無穷極限(卽成为無穷大),卽:对任意的 $E>0$,求数 $N=N(E)$,使

$$\text{当 } n>N \text{ 时,} \quad |x_n|>E。$$

对应着上面的每一种情形填下表:

E	10	100	1000	10000	……
N					

44. 求証

$$x_n=n^{(-1)^n} \quad (n=1,\ 2,\ \cdots)$$

無界,但当 $n\to\infty$ 时,它并不成为無穷大。

45. 用不等式表示下列各式:

(a) $\lim\limits_{n\to\infty} x_n=\infty$; (б) $\lim\limits_{n\to\infty} x_n=-\infty$; (в) $\lim\limits_{n\to\infty} x_n=+\infty$。

設 n 跑过自然数列,求下列各式之值:

46. $\lim\limits_{n\to\infty}\dfrac{10000n}{n^2+1}$。

47. $\lim\limits_{n\to\infty}(\sqrt{n+1}-\sqrt{n})$。

48. $\lim\limits_{n\to\infty}\dfrac{\sqrt[3]{n^2}\sin n!}{n+1}$。

49. $\lim\limits_{n\to\infty}\dfrac{(-2)^n+3^n}{(-2)^{n+1}+3^{n+1}}$。

50. $\lim\limits_{n\to\infty}\dfrac{1+a+a^2+\cdots+a^n}{1+b+b^2+\cdots+b^n}$ $(|a|<1, |b|<1)$。

51. $\lim\limits_{n\to\infty}\left(\dfrac{1}{n^2}+\dfrac{2}{n^2}+\cdots+\dfrac{n-1}{n^2}\right)$。

52. $\lim\limits_{n\to\infty}\left|\dfrac{1}{n}-\dfrac{2}{n}+\dfrac{3}{n}-\cdots+\dfrac{(-1)^{n-1}n}{n}\right|$。

53. $\lim\limits_{n\to\infty}\left[\dfrac{1^2}{n^3}+\dfrac{2^2}{n^3}+\cdots+\dfrac{(n-1)^2}{n^3}\right]$。

54. $\lim\limits_{n\to\infty}\left[\dfrac{1^2}{n^3}+\dfrac{3^2}{n^3}+\cdots+\dfrac{(2n-1)^2}{n^3}\right]$。

55. $\lim\limits_{n\to\infty}\left(\dfrac{1}{2}+\dfrac{3}{2^2}+\dfrac{5}{2^3}+\cdots+\dfrac{2n-1}{2^n}\right)$。

56. $\lim\limits_{n\to\infty}\left[\frac{1}{1\cdot 2}+\frac{1}{2\cdot 3}+\cdots+\frac{1}{n(n+1)}\right]$。

57. $\lim\limits_{n\to\infty}(\sqrt{2}\sqrt[4]{2}\sqrt[8]{2}\cdots\sqrt[2^n]{2})$。

証明下列等式:

58. $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{n}{2^n}=0$。 **59**. $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{2^n}{n!}=0$。

60. $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{n^k}{a^n}=0\ (a>1)$。 **61**. $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{a^n}{n!}=0$。

62. $\lim\limits_{n\to\infty}nq^n=0$,若$|q|<1$。 **63**. $\lim\limits_{n\to\infty}\sqrt[n]{a}=1\ (a>0)$。

64. $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{\log_a n}{n}=0(a>1)$。 **65**. $\lim\limits_{n\to\infty}\sqrt[n]{n}=1$。

66. $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{1}{\sqrt[n]{n!}}=0$。

67. 当 n 充分大时,下面的式子那个大些:

(а) $100n+200$ 或 $0.01n^2$?; (б) 2^n 或 n^{1000}?;

(в) 1000^n 或 $n!$?

68. 証明

$$\lim_{n\to\infty}\left(\frac{1}{2}\cdot\frac{3}{4}\cdots\frac{2n-1}{2n}\right)=0。$$

提示 参閱題10。

69. 証明叙列

$$x_n=\left(1+\frac{1}{n}\right)^n \quad (n=1,2,\cdots)$$

是單調增的,且上方有界。而叙列

$$y_n=\left(1+\frac{1}{n}\right)^{n+1} \quad (n=1,2,\cdots)$$

是單調减的,且下方有界。由此推出这些叙列有公共的極限:

$$\lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{1}{n}\right)^n=\lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{1}{n}\right)^{n+1}=e。$$

提示 先作出比$\frac{x_{n+1}}{x_n}$, $\frac{y_n}{y_{n-1}}$并利用題7的不等式。

70. 証明

$$0<e-\left(1+\frac{1}{n}\right)^n<\frac{3}{n} \quad (n=1, 2, \cdots)。$$

当指数n是甚么样的数值时，表示式$\left(1+\frac{1}{n}\right)^n$与数$e$之差小于0.001?

71. 設p_n $(n=1, 2, \cdots)$为趋于$+\infty$的任意数列，而q_n $(n=1, 2, \cdots)$为趋于$-\infty$的任意数列。求証

$$\lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{1}{p_n}\right)^{p_n}=\lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{1}{q_n}\right)^{q_n}=e。$$

72. 已知

$$\lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{1}{n}\right)^n=e,$$

求証

$$\lim_{n\to\infty}\left(1+1+\frac{1}{2!}+\frac{1}{3!}+\cdots+\frac{1}{n!}\right)=e。$$

由此推出公式

$$e=1+1+\frac{1}{2!}+\frac{1}{3!}+\cdots+\frac{1}{n!}+\frac{\theta_n}{n!n},$$

其中$0<\theta_n<1$，并計算数e准确到10^{-5}。

73. 証明数e为無理数。

74. 証明不等式

$$\left(\frac{n}{e}\right)^n<n!<e\left(\frac{n}{2}\right)^n。$$

75. 証明不等式

(a) $\frac{1}{n+1}<\ln\left(1+\frac{1}{n}\right)<\frac{1}{n}$,

式中n为任意的自然数。

(б) $1+a<e^a$,

其中a为异于零的实数。