קורס: 89-133, חשבון אינפי' 2, סמסטר ב', תשע"ב.
מתרגלים: ויקי בליזניאנסקי,
בועז ויינר,
מיכאל מיכאלי.

אוניברסיטת בר אילן,
המחלקה למתמטיקה.

תרגיל 6

<u>שאלה 1:</u> השתמשו באינטגרלים מסוימים מתאימים על מנת לחשב את הגבולות הבאים:

א. $$\lim_{n\to\infty}\frac{\pi}{n}\left(\sin\frac{\pi}{n}+\sin\frac{2\pi}{n}+\ldots+\sin\frac{(n-1)\pi}{n}\right)$$

פתרון: $$\lim_{n\to\infty}\frac{\pi}{n}\left(\sin\frac{\pi}{n}+\sin\frac{2\pi}{n}+\ldots+\sin\frac{(n-1)\pi}{n}\right)=\lim_{n\to\infty}\frac{\pi}{n}\sum_{k=1}^{n}\sin\frac{\pi k}{n}$$

שימו לב הוספנו מחובר $\sin\frac{\pi n}{n}=\sin\pi=0$.

נגדיר $f(x)=\sin x$ בקטע $[0,\pi]$. $f(x)$ רציפה בקטע הנ"ל ולכן אינטגרבילית בו.

$\frac{\pi}{n}\sum_{k=1}^{n}\sin\frac{\pi k}{n}=\sum_{k=1}^{n}f(x_k^*)\Delta x$ כאשר $\Delta x=\frac{\pi}{n},\ x_k^*=\frac{\pi k}{n}\in[x_{k-1},x_k],\ x_k=\frac{\pi k}{n},\ 0\le k\le n$

ולכן לפי הגדרה של האינטגרל המסוים

$$\lim_{n\to\infty}\frac{\pi}{n}\left(\sin\frac{\pi}{n}+\sin\frac{2\pi}{n}+\ldots+\sin\frac{(n-1)\pi}{n}\right)=\lim_{n\to\infty}\frac{\pi}{n}\sum_{k=1}^{n}\sin\frac{\pi k}{n}=\int_0^{\pi}\sin x\,dx=-\cos x\Big|_0^{\pi}=-(-1-1)=2$$

ב. $$\lim_{n\to\infty}\left(\frac{1}{\sqrt{4n^2-1}}+\frac{1}{\sqrt{4n^2-2^2}}+\ldots+\frac{1}{\sqrt{4n^2-n^2}}\right)$$

פתרון:

$$\lim_{n\to\infty}\left(\frac{1}{\sqrt{4n^2-1}}+\frac{1}{\sqrt{4n^2-2^2}}+\ldots+\frac{1}{\sqrt{4n^2-n^2}}\right)$$
$$=\lim_{n\to\infty}\left(\frac{1}{n}\left(\frac{1}{\sqrt{4-\left(\frac{1}{n}\right)^2}}+\frac{1}{\sqrt{4-\left(\frac{2}{n}\right)^2}}+\ldots+\frac{1}{\sqrt{4-\left(\frac{n}{n}\right)^2}}\right)\right)=\lim_{n\to\infty}\sum_{k=1}^{n}\frac{1}{n}\frac{1}{\sqrt{4-\left(\frac{k}{n}\right)^2}}$$

פונקציה $f(x)=\frac{1}{\sqrt{4-x^2}}$ רציפה בקטע $[0,1]$ ולכן אינטגרבילית בו ולכן

$$\lim_{n\to\infty}\sum_{k=1}^{n}\frac{1}{n}\frac{1}{\sqrt{4-\left(\frac{k}{n}\right)^2}}=\lim_{n\to\infty}\sum_{k=1}^{n}f\left(\frac{k}{n}\right)\frac{1}{n}=\int_0^1\frac{1}{\sqrt{4-x^2}}dx=\arcsin\frac{x}{2}\Big|_0^1=\arcsin\frac{1}{2}-\arcsin 0=\frac{\pi}{6}$$

<u>שאלה 2:</u> הוכיחו את אי השוויונות:

א. $$0<\int_0^1\frac{x^7dx}{\sqrt[3]{1+x^8}}<\frac{1}{8}$$

הוכחה: $x^7<\frac{x^7}{\sqrt[3]{1+x^8}}>0$ לכל $0<x\le 1$ ולכן $0<\int_0^1\frac{x^7dx}{\sqrt[3]{1+x^8}}<\int_0^1x^7dx=\frac{x^8}{8}\Big|_0^1=\frac{1}{8}$. מש"ל

ב. $\int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-R\sin x}dx < \frac{\pi}{2R}\left(1-e^{-R}\right)$ כאשר $R>0$. רמז: הוכיחו כי $\sin x > \frac{2}{\pi}x$ בקטע $\left(0,\frac{\pi}{2}\right)$.

הוכחה:

1. נראה ש- $\sin x > \frac{2}{\pi}x$ בקטע $\left(0,\frac{\pi}{2}\right)$.

נגדיר $f(x)=\sin x-\frac{2}{\pi}x$. זוהי פונקציה רציפה בקטע סגור $\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$ ולכן מקבלת ערך מינימלי ומקסימלי בקטע. נמצא את הערך המינימלי.

$f'(x)=\cos x-\frac{2}{\pi}=0$ ולכן $x=\arccos\left(\frac{2}{\pi}\right)$ נקודה חשודה לקיצון בקטע הנ"ל.

$f(0)=f\left(\frac{\pi}{2}\right)=0$, $f\left(\arccos\frac{2}{\pi}\right)\approx 0.21>0$ ולכן הערך המינימלי של הפונקציה בקטע $\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$ הוא 0 ולכן $f(x)>0$ לכל $0<x<\frac{\pi}{2}$ כלומר $\sin x > \frac{2}{\pi}x$ בקטע $\left(0,\frac{\pi}{2}\right)$ כדרוש.

2. נוכיח, כי $\int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-R\sin x}dx < \frac{\pi}{2R}\left(1-e^{-R}\right)$ כאשר $R>0$.

$f(x)=e^{-R\sin x}$ פונקציה יורדת בקטע $\left(0,\frac{\pi}{2}\right)$ והוכחנו ש- $\sin x > \frac{2}{\pi}x$ לכן $e^{-R\sin x}<e^{-\frac{2}{\pi}Rx}$ בקטע הנ"ל ולכן

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-R\sin x}dx < \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-\frac{2}{\pi}Rx}dx = -\frac{\pi}{2R}e^{-\frac{2}{\pi}Rx}\Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{\pi}{2R}\left(1-e^{-R}\right)$$ כדרוש.

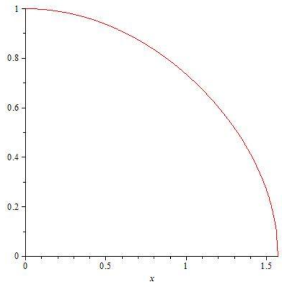
שאלה 3: חשבו את הגבול $\lim_{x\to 0}\frac{\int_0^{x^2}\sin t^2dt}{x^6}$

פתרון: הגבול הינו מהצורה $\frac{"0"}{0}$. נשתמש בכלל לופיטל

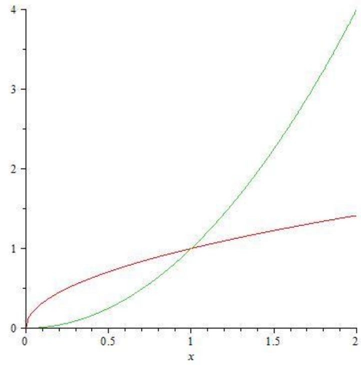
$$\lim_{x\to 0}\frac{\int_0^{x^2}\sin t^2dt}{x^6}=\lim_{x\to 0}\frac{2x\sin x^4}{6x^5}=\lim_{x\to 0}\frac{\sin x^4}{3x^4}=\frac{1}{3}$$

שאלה 4:

א. מצאו את נפח הגוף הנוצר ע"י סיבוב של התחום החסום ע"י $y=\sqrt{\cos x}, x=\frac{\pi}{4}, x=\frac{\pi}{2}, y=0$ סביב ציר ה - x.



פתרון: $V=\pi\int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}}\left(\sqrt{\cos x}\right)^2dx=\pi\sin x\Big|_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}}=\pi\left(1-\frac{\sqrt{2}}{2}\right)$



ב. מצאו את נפח הגוף הנוצר ע"י סיבוב של התחום החסום ע"י $y=x^2,x=y^2$ סביב ציר ה - y.

פתרון: נמצא את נקודות החיתוך של שתי העקומות

$$y=x^2,x=y^2$$
$$x^4=x$$
$$x\left(x^3-1\right)=0$$
$$x_1=0,x_2=1$$

$$V=\pi\int_0^1\left(\sqrt{y}\right)^2dy-\pi\int_0^1\left(y^2\right)^2dy=\frac{\pi}{2}y^2\Big|_0^1-\frac{\pi}{5}y^5\Big|_0^1=\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{5}=\frac{3\pi}{10}$$

<u>שאלה 5:</u> חשבו את אורך הקשת של העקומות הבאות:

א. $y=\ln\frac{e^x+1}{e^x-1}$ מ- $x=a$ ל- $x=b$, $b>a$

פתרון:

$$y'=\frac{e^x-1}{e^x+1}\cdot\frac{e^x\left(e^x-1\right)-e^x\left(e^x+1\right)}{\left(e^x-1\right)^2}=\frac{-2e^x}{e^{2x}-1}$$

$$L=\int_a^b\sqrt{1+\left(\frac{-2e^x}{e^{2x}-1}\right)^2}dx=\int_a^b\sqrt{\frac{e^{4x}-2e^{2x}+1+4e^{2x}}{\left(e^{2x}-1\right)^2}}dx=\int_a^b\sqrt{\frac{\left(e^{2x}+1\right)^2}{\left(e^{2x}-1\right)^2}}dx=\int_a^b\frac{e^{2x}+1}{e^{2x}-1}dx$$
$$=\int_a^b\frac{e^{2x}}{e^{2x}-1}dx+\int_a^b\frac{1}{e^{2x}-1}dx$$

נציב

$$e^{2x}-1=t \qquad\qquad e^{2x}-1=t$$
$$2e^{2x}dx=dt \qquad \textbf{או} \qquad 2e^{2x}dx=dt$$
$$e^{2x}dx=\frac{1}{2}dt \qquad\qquad dx=\frac{1}{2(t+1)}dt$$

נקבל

$$\int_a^b \frac{e^{2x}}{e^{2x}-1}dx+\int_a^b \frac{1}{e^{2x}-1}dx=\frac{1}{2}\int_{e^{2a}-1}^{e^{2b}-1}\frac{1}{t}dt+\frac{1}{2}\int_{e^{2a}-1}^{e^{2b}-1}\frac{1}{t(t+1)}dt=\frac{1}{2}\int_{e^{2a}-1}^{e^{2b}-1}\frac{1}{t}dt+\frac{1}{2}\int_{e^{2a}-1}^{e^{2b}-1}\left(\frac{1}{t}-\frac{1}{t+1}\right)dt$$

$$=\int_{e^{2a}-1}^{e^{2b}-1}\frac{1}{t}dt-\frac{1}{2}\int_{e^{2a}-1}^{e^{2b}-1}\frac{1}{t+1}dt=\ln\left|\frac{e^{2b}-1}{e^{2a}-1}\right|-\frac{1}{2}\ln\left|\frac{e^{2b}}{e^{2a}}\right|=\ln\left|\frac{e^{2b}-1}{e^{2a}-1}\right|-\ln\left|\frac{e^{b}}{e^{a}}\right|=\ln\left|\frac{e^{a}\left(e^{2b}-1\right)}{e^{b}\left(e^{2a}-1\right)}\right|$$

ב. $x=\frac{1}{4}y^2-\frac{1}{2}\ln y$ מ-$y=1$ ל-$y=2$.

פתרון:

$$x'=\frac{1}{2}y-\frac{1}{2y}$$

$$L=\int_1^2\sqrt{1+\left(\frac{1}{2}y-\frac{1}{2y}\right)^2}dy=\int_1^2\sqrt{\left(\frac{1}{2}y+\frac{1}{2y}\right)^2}dy=\int_1^2\left(\frac{1}{2}y+\frac{1}{2y}\right)dy$$

$$=\frac{1}{4}y^2+\frac{1}{2}\ln|y|\Big|_1^2=1+\frac{1}{2}\ln 2-\frac{1}{4}=\frac{3}{4}+\frac{1}{2}\ln 2$$