انجینئری حساب

(جلد اول)

خالد خان یوسفزئی

جامعہ کامسیٹ، اسلام آباد
khalidyousafzai@comsats.edu.pk

عنوان

میری پہلی کتاب کا دیباچہ

گزشتہ چند برسوں سے حکومتِ پاکستان اعلیٰ تعلیم کی طرف توجہ دے رہی ہے جس سے ملک کی تاریخ میں پہلی مرتبہ اعلیٰ تعلیمی اداروں میں تحقیق کا رجحان پیدا ہوا ہے۔امید کی جاتی ہے کہ یہ سلسلہ جاری رہے گا۔

پاکستان میں اعلیٰ تعلیم کا نظام انگریزی زبان میں رائج ہے۔دنیا میں تحقیقی کام کا بیشتر حصہ انگریزی زبان میں ہی چھپتا ہے۔انگریزی زبان میں ہر موضوع پر لاتعداد کتابیں پائی جاتی ہیں جن سے طلبہ و طالبات استفادہ کرتے ہیں۔

ہمارے ملک میں طلبہ و طالبات کی ایک بہت بڑی تعداد بنیادی تعلیم اردو زبان میں حاصل کرتی ہے۔ان کے لئے انگریزی زبان میں موجود مواد سے استفادہ کرنا تو ایک طرف، انگریزی زبان ازخود ایک رکاوٹ کے طور پر ان کے سامنے آتی ہے۔یہ طلبہ و طالبات ذہین ہونے کے باوجود آگے بڑھنے اور قوم و ملک کی بھرپور خدمت کرنے کے قابل نہیں رہتے۔ایسے طلبہ و طالبات کو اردو زبان میں نصاب کی اچھی کتابیں درکار ہیں۔ہم نے قومی سطح پر ایسا کرنے کی کوئی خاطر خواہ کوشش نہیں کی۔

میں برسوں تک اس صورت حال کی وجہ سے پریشانی کا شکار رہا۔کچھ کرنے کی نیت رکھنے کے باوجود کچھ نہ کر سکتا تھا۔میرے لئے اردو میں ایک صفحہ بھی لکھنا ناممکن تھا۔آخر کار ایک دن میں نے اپنی اس کمزوری کو کتاب نہ لکھنے کا جواز بنانے سے انکار کر دیا اور یوں یہ کتاب وجود میں آئی۔

یہ کتاب اردو زبان میں تعلیم حاصل کرنے والے طلبہ و طالبات کے لئے نہایت آسان اردو میں لکھی گئی ہے۔کوشش کی گئی ہے کہ اسکول کی سطح پر نصاب میں استعمال ہونے والے تکنیکی الفاظ ہی استعمال کئے جائیں۔جہاں ایسے الفاظ موجود نہ تھے وہاں روز مرہ میں استعمال ہونے والے الفاظ چنے گئے۔تکنیکی الفاظ کی چنائی کے وقت اس بات کا دہان رکھا گیا کہ ان کا استعمال دیگر مضامین میں بھی ممکن ہو۔

کتاب میں بین الاقوامی نظامِ اکائی استعمال کی گئی ہے۔اہم متغیرات کی علامتیں وہی رکھی گئی ہیں جو موجودہ نظامِ تعلیم کی نصابی کتابوں میں رائج ہیں۔یوں اردو میں لکھی اس کتاب اور انگریزی میں اسی مضمون پر لکھی کتاب پڑھنے والے طلبہ و طالبات کو ساتھ کام کرنے میں دشواری نہیں ہو گی۔

امید کی جاتی ہے کہ یہ کتاب ایک دن خالصتاً اردو زبان میں انجنیئرنگ کی نصابی کتاب کے طور پر استعمال کی جائے گی۔اردو زبان میں برقی انجنیئرنگ کی مکمل نصاب کی طرف یہ پہلا قدم ہے۔

اس کتاب کے پڑھنے والوں سے گزارش کی جاتی ہے کہ اسے زیادہ سے زیادہ طلبہ و طالبات تک پہنچانے میں مدد دیں اور انہیں جہاں اس کتاب میں غلطی نظر آئے وہ اس کی نشاندہی میری ای۔میل پر کریں۔میں ان کا نہایت شکر گزار ہوں گا۔

اس کتاب میں تمام غلطیاں مجھ سے ہی سرزد ہوئی ہیں البتہ انہیں درست کرنے میں بہت لوگوں کا ہاتھ ہے۔میں ان سب کا شکریہ ادا کرتا ہوں۔ یہ سلسلہ ابھی جاری ہے اور مکمل ہونے پر ان حضرات کے تاثرات یہاں شامل کئے جائیں گے۔

میں یہاں کامسیٹ یونیورسٹی اور ہائر ایجوکیشن کمیشن کا شکریہ ادا کرنا چاہتا ہوں جن کی وجہ سے ایسی سرگرمیاں ممکن ہوئیں۔

خالد خان یوسفزئی

28 اکتوبر 2011

باب 17

ترتیب اور تسلسل

اس باب میں مخلوط اور حقیقی ترتیب اور تسلسل کے بنیادی تصورات پیش کیے جائیں گے۔

17.1 ترتیب

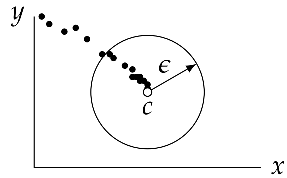
تسلسل، بالخصوص طاقتی تسلسل مخلوط تجزیہ میں کلیدی کردار ادا کرتے ہیں۔ان کو متعارف کرنے کی خاطر ہم پہلے ترتیب اور اس سے متعلقہ تصورات کی تعریف پیش کرتے ہیں۔ہم دیکھیں گے کہ مخلوط ترتیب اور تسلسل کی زیادہ تر مسئلے اور تعریف، حقیقی ترتیب اور تسلسل کے مسائل اور تعریف کی مانند ہوں گے جنہیں حقیقی علم الاحصاء میں استعمال کیا جاتا ہے۔

اگر ہر مثبت عدد صحیح n کو عدد z_n مختص کی جائے تب ہم کہتے ہیں کہ اعداد

$$z_1, z_2, \cdots, z_n, \cdots$$

لامتناہی ترتیب[1] یا، مختصراً، **ترتیب** بناتے ہیں۔ان اعداد z_n کو ترتیب کے **مقدار** یا **اجزاء**[2] کہتے ہیں۔

[1] infinite sequence
[2] terms



شکل 17.1: مرتکز مخلوط ترتیب

حقیقی اجزاء پر مبنی ترتیب کو **حقیقی ترتیب**[3] کہتے ہیں۔

بعض اوقات ہم ترتیب کے اجزاء کی گنتی 0 یا 2 یا کسی دیگر عدد صحیح سے شروع کرتے ہیں۔

ایک ترتیب $z_1, z_2, \cdots$ اس صورت **مرکوز یا مرتکز** ہو گا جب ایسا عدد c پایا جاتا ہو کہ کسی بھی مثبت (غیر صفر) حقیقی عدد ϵ (جو چاہے جتنا چھوٹا کیوں نہ ہو) کی صورت میں ہم ایسا عدد صحیح N تلاش کر سکتے ہوں کہ تمام $n > N$ کے لئے درج ذیل درست ہو۔

$$|z_n - c| < \epsilon \qquad n > N \tag{17.1}$$

c کو ترتیب کی **حد**[4] کہتے ہیں جس کو عموماً

$$z_n \to c \qquad (n \to \infty)$$

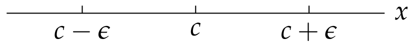
لکھا جاتا ہے اور ہم کہتے ہیں کہ ترتیب c کو مرکوز ہے یا کہ ترتیب کی حد c ہے۔

ایسا ترتیب جو مرتکز نہ ہو **منفرج**[5] کہلاتا ہے۔

مساوات 17.1 کا ایک سادہ جیومیٹریائی مطلب ہے۔ یہ مساوات کہتی ہے کہ $n > N$ کی صورت میں ہر جزو z_n اس کھلے قرص میں پایا جاتا ہے جس کا رداس ϵ اور مرکز c ہے (شکل 17.1) جبکہ قرص کا رداس ϵ کتنا ہی کم کیوں نہ کر دیا جائے اس قرص کے باہر اجزاء z_n کی زیادہ سے زیادہ تعداد محدود ہو گی۔ ظاہر ہے کہ N کی قیمت عموماً ϵ پر منحصر ہو گی۔

حقیقی ترتیب کی صورت میں مساوات 17.1 جیومیٹریائی طور کہتی ہے کہ $n > N$ کی صورت میں جزو z_n وقفہ $c - \epsilon$ تا $c + \epsilon$ پر پایا جائے گا (شکل 17.2) اور اس وقفہ سے باہر اجزاء کی زیادہ سے زیادہ تعداد محدود ہو گی۔

[3] real sequence
[4] limit
[5] divergent



شکل 17.2: حقیقی مرتکز ترتیب

مثال 17.1: مرتکز اور منفرج ترتیب
ترتیب $z_n = 1+\frac{2}{n}$ کے اجزاء $3, 2, \frac{5}{3}, \frac{6}{4}, \frac{7}{5}, \cdots$ ہیں۔یہ ترتیب مرتکز ہے اور اس کی حد $c = 1$ ہے۔در حقیقت مساوات 17.1 سے

$$z_n - c = 1 + \frac{2}{n} - 1 = \frac{2}{n}$$

لکھا جا سکتا ہے۔یوں $\frac{2}{n} < \epsilon$ اس صورت ہو گا جب $\frac{n}{2} > \frac{1}{\epsilon}$ یا $n > \frac{2}{\epsilon}$ ہو۔مثلاً $\epsilon = 0.01$ منتخب کرتے ہوئے $\frac{2}{n} < 0.01$ تب ہو گا جب $n > 200$ ہو۔

ترتیب $1, 2, 3, \cdots$ اور $\frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{1}{5}, \frac{4}{5}, \frac{1}{6}, \frac{5}{6}, \cdots$ منفرج ہیں۔

وہ ترتیب جس کے اجزاء

$$z_n = 2 - \frac{1}{n} + i\left(1 + \frac{2}{n}\right)$$

یعنی

$$1+i, \quad \frac{3}{2} + i2, \quad \frac{7}{4} + i\frac{3}{2}, \cdots$$

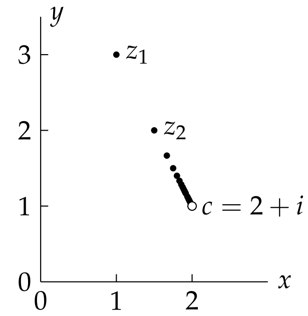
ہیں کو شکل 17.3 میں دکھایا گیا ہے جہاں پہلے دو اجزاء $z_1 = 1 + i3$ اور $z_2 = \frac{3}{2} + i2$ کی نشاندہی کی گئی ہے۔یہ ترتیب مرتکز ہے اور اس کی حد $c = 2 + i$ ہے۔مساوات 17.1 سے

$$|z_n - c| = \left|\frac{2n-1}{n} + i\frac{n+2}{n} - (2+i)\right| = \left|-\frac{1}{n} + i\frac{2}{n}\right| = \frac{\sqrt{5}}{n}$$

لکھا جا سکتا ہے۔یوں $\frac{\sqrt{5}}{n} < \epsilon$ تب ہو گا جب $\frac{n}{\sqrt{5}} > \frac{1}{\epsilon}$ یعنی $n > \frac{\sqrt{5}}{\epsilon}$ ہو۔مثال کے طور پر $\epsilon = \frac{1}{100}$ منتخب کرتے ہوئے $|z_n - c| < \epsilon$ تب ہو گا جب $n > 223.6$ یعنی $n = 224$ یا $n = 225$ ، وغیرہ ہو۔
□

مخلوط ترتیب $z_1, z_2, z_3, \cdots$ کی صورت میں $z_n = x_n + iy_n$ لکھ کر ہم حقیقی حصوں کی ترتیب اور خیالی حصوں کی ترتیب

$$x_1, x_2, x_3, \cdots \qquad \text{اور} \qquad y_1, y_2, y_3, \cdots$$



شکل 17.3: مثال 17.1 میں آخری ترتیب

پر علیحدہ علیحدہ غور کر سکتے ہیں۔ مثلاً مثال 17.1 کی آخری ترتیب کے دو علیحدہ علیحدہ ترتیب درج ذیل ہوں گی۔

$$1, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{7}{4}, \cdots \quad \text{اور} \quad 3, 2, \frac{5}{3}, \frac{3}{2}, \cdots$$

ہم دیکھتے ہیں کہ حقیقی اور خیالی ترتیب کے حد بالترتیب 2 اور 1 ہیں (شکل 17.3) جو اصل مخلوط ترتیب کی حقیقی اور خیالی حصوں کی حد ہیں۔ عموماً ایسا ہی ہوتا ہے جو درج ذیل کی ایک مثال ہے۔

مسئلہ 17.1: (حقیقی اور خیالی اجزاء کی ترتیب)
مخلوط اعداد $(n = 1, 2, \cdots)$ $z_n = x_n + iy_n$ کی ترتیب $z_1, z_2, \cdots, z_n, \cdots$ صرف اور صرف اس صورت حد $c = a + ib$ پر مرکوز ہو گا جب حقیقی حصوں کی ترتیب $x_1, x_2, \cdots$ نقطہ a پر مرتکز ہو اور خیالی حصوں کی ترتیب $y_1, y_2, \cdots$ نقطہ b پر مرتکز ہو۔

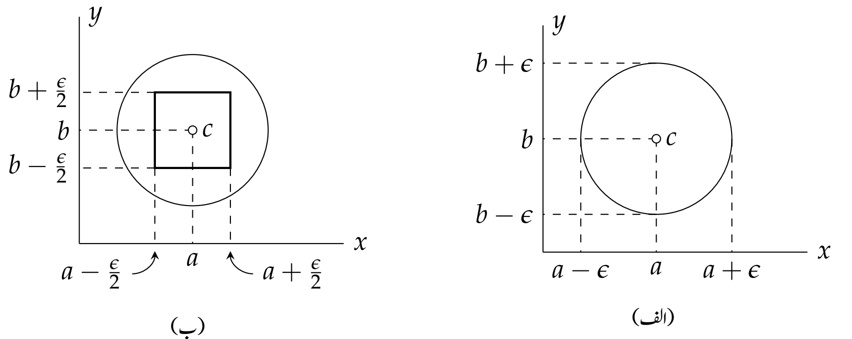
ثبوت: اگر $|z_n - c| < \epsilon$ ہو تب $z_n = x_n + iy_n$ اس دائرہ کے اندر پایا جائے گا جس کا رداس ϵ اور مرکز $c = a + ib$ ہوں۔ یوں لازماً

$$|x_n - a| < \epsilon, \quad |y_n - b| < \epsilon$$

ہو گا (شکل 17.4-الف)۔ یوں $n \to \infty$ کی صورت میں مرکوزیت $z_n \to c$ سے مراد مرکوزیت $x_n \to a$ اور مرکوزیت $y_n \to b$ ہے۔

اس کی الٹ چلتے ہوئے، اگر $n \to \infty$ کی صورت میں $x_n \to a$ اور $y_n \to b$ ہوں تب کسی بھی دیے گئے $\epsilon > 0$ کی صورت میں ہم ایسا N اتنا بڑا منتخب کر سکتے ہیں کہ ہر $n > N$ کے لئے

$$|x_n - a| < \frac{\epsilon}{2}, \quad |y_n - b| < \frac{\epsilon}{2}$$



شکل 17.4: مسئلہ 17.1 کا ثبوت

ہو۔ان دو عدم مساوات کہتی ہیں کہ $z_n = x_n + iy_n$ اس چکور کے اندر پایا جائے گا جس کے اطراف کی لمبائی ϵ اور مرکز c ہو (شکل 17.4-ب)۔یوں ثبوت مکمل ہوتا ہے۔

□

اس مسئلہ کی باعث حقیقی حصہ اور خیالی حصہ کی ترتیب پر غور کرتے ہوئے مخلوط ترتیب کی مرکوزیت کو حقیقی ترتیب سے حاصل کیا جا سکتا ہے۔

اگر ایسا مثبت عدد K پایا جاتا ہو کہ مرکز پر رداس K کے دائرے میں ترتیب $z_1, z_2, \cdots$ کے تمام اجزاء پائے جاتے ہوں یعنی

$$|z_n| < K \qquad \text{تمام } n$$

تب یہ ترتیب **محدود**[6] کہلاتا ہے۔ایسا ترتیب جو محدود نہ ہو **غیر محدود**[7] کہلاتا ہے۔

اس تصور کو استعمال کرتے ہوئے انفراج کو عموماً درج ذیل سادہ مسئلہ سے دریافت کیا جا سکتا ہے۔

مسئلہ 17.2: ہر مرتکز ترتیب محدود ہو گی۔یوں اگر ایک ترتیب غیر محدود ہو تب یہ منفرج ہو گی۔

---

[6] bounded
[7] unbounded

ثبوت: فرض کریں کہ ترتیب $z_1, z_2, \cdots$ مرکوز ہے اور اس کی حد c ہے۔ تب ہم $\epsilon > 0$ منتخب کرتے ہوئے ایسا مطابقتی N تلاش کر سکتے ہیں کہ $n > N$ کے لئے ہر z_n رداس ϵ کے قرص، جس کا مرکز c ہو، میں پائے جائیں گے اور وہ z_n جو اس قرص کے باہر ہوں کی زیادہ سے زیادہ تعداد محدود ہو گی۔ اب ظاہر ہے کہ ہم مرکز پر اتنے بڑی رداس K کا دائرہ منتخب کر سکتے ہیں کہ یہ قرص اور قرص کے باہر تمام z_n اس دائرے میں پائیں جاتے ہوں۔ اس سے ثابت ہوتا ہے کہ یہ ترتیب محدود ہے۔

□

یہاں دہان رہے کہ محدود ہونا مرکوزیت کے لئے کافی نہیں ہے۔ مثلاً ترتیب $1, 0, 1, 0, \cdots$ محدود لیکن منفرج ہے۔ (کیوں؟) غیر محدود ترتیب کی مثالیں درج ذیل ہیں

$$1, 2, 3, 4, \cdots \quad \text{اور} \quad \frac{1}{2}, 2, \frac{1}{3}, 3, \frac{1}{4}, 4, \cdots$$

جو مسئلہ 17.2 کے تحت منفرج ترتیب ہیں۔

سوالات

سوال 17.1 تا سوال 17.6 میں دیے ترتیب کے ابتدائی چند اجزاء لکھ کر ترسیم کریں۔

سوال 17.1: $\frac{n}{n+3}$
جواب: $\frac{1}{4}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{4}{7}, \frac{5}{8}, \cdots$

سوال 17.2: $\frac{2n}{n^2+1}$
جواب: $1, \frac{4}{5}, \frac{3}{5}, \frac{8}{17}, \frac{5}{13}, \cdots$

سوال 17.3: $\frac{i^n}{n^2}$
جواب: $i, -\frac{1}{4}, -\frac{i}{9}, \frac{1}{16}, \frac{i}{25}, \cdots$

سوال 17.4: $\frac{in}{n+1}$
جواب: $\frac{i}{2}, \frac{i2}{3}, \frac{i3}{4}, \frac{i4}{5}, \frac{i5}{6}, \cdots$

سوال 17.5: $\frac{i^n n^2}{n+i}$
جواب: $\frac{1}{2}(1+i), \frac{4}{5}(-2+i), \frac{9}{10}(-1-i3), \frac{16}{17}(4-i), \frac{25}{26}(1+i5), \cdots$

سوال 17.6: $(-1)^n + i2\pi n$
جواب: $-1+i2\pi, 1+i4\pi, -1+i6\pi, 1+i8\pi, -1+i10\pi, \cdots$

سوال 17.7: ترتیب $z_1 = 1$ ، $z_2 = \frac{i}{2}$ ، $z_n = iz_{n-2}z_{n-1}$ $(n = 3, 4, \cdots)$ کے ابتدائی چند اجزاء لکھیں۔اس ترتیب کی حد تلاش کریں۔
جواب: $1, \frac{i}{2}, -\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, -\frac{i}{8}, \cdots$

سوال 17.8 تا سوال 17.13 میں دریافت کریں کہ آیا دی گئی ترتیب محدود ہے؟ کیا یہ ترتیب مرکوز ہے؟ مرکوزیت کی صورت میں ترتیب کی حد تلاش کریں۔

سوال 17.8: $z_n = i^n$
جواب: محدود، منفرج

سوال 17.9: $z_n = \frac{i^n}{n}$
جواب: محدود، مرکوز، حد 0

سوال 17.10: $z_n = \frac{in}{n+1}$
جواب: محدود، مرکوز، حد i

سوال 17.11: $z_n = \frac{n^2}{n+i}$
جواب: غیر محدود، منفرج

سوال 17.12: $z_n = \frac{(-1)^n}{n^3}$
جواب: محدود، مرکوز، حد 0

سوال 17.13: $z_n = e^{i\frac{n\pi}{4}}$
جواب: محدود، منفرج

سوال 17.14: **حد کی یکتائی**
دکھائیں کہ اگر ایک ترتیب مرتکز ہو تب اس کا حد یکتا ہو گا۔

سوال 17.15: ثابت کریں (مثال 17.1 کی طرح) کہ $\frac{i^n}{n^3}$ مرکوز ہے۔

سوال 17.16: ایک ترتیب کے اجزاء درج ذیل کلیہ دیتی ہے۔اس ترتیب کو استعمال کرتے ہوئے مسئلہ 17.1 کی تصدیق کریں۔

$$z_n = \frac{n^2-1}{2n^2+1} + i\frac{n}{n+2}$$

سوال 17.17: دکھائیں کہ مخلوط ترتیب $z_1, z_2, \cdots$ اس صورت محدود ہو گی جب اس کے حقیقی حصہ اور خیالی حصہ کے مطابقتی ترتیب محدود ہوں۔

سوال 17.18: اگر ترتیب $z_1, z_2, \cdots$ مرکوز ہو اور اس کا حد 0 ہو، اور ترتیب $b_1, b_2, \cdots$ کسی مقررہ $K > 0$ اور تمام n کے لئے $|b_n| \le K|z_n|$ کو مطمئن کرتا ہو تب دکھائیں کہ ترتیب $b_1, b_2, \cdots$ مرکوز ہے اور اس کا حد 0 ہے۔

سوال 17.19: اگر ترتیب $z_1, z_2, \cdots$ مرکوز ہو اور اس کا حد l ہو اور ترتیب $z_1^*, z_2^*, \cdots$ مرکوز ہو اور اس کا حد l^* ہو تب دکھائیں کہ ترتیب $z_1 + z_1^*, z_2 + z_2^*, \cdots$ مرکوز ہو گا اور اس کا حد $l + l^*$ ہو گا۔

سوال 17.20: سوال 17.19 کے مفروضوں کے ساتھ دکھائیں کہ ترتیب $z_1 z_1^*, z_2 z_2^*, \cdots$ مرکوز ہو گا اور اس کا حد ll^* ہو گا۔

17.2 تسلسل

فرض کریں کہ $w_1, w_2, \cdots, w_m, \cdots$ حقیقی یا مخلوط اعداد کی ترتیب ہے۔تب ہم درج ذیل **لامتناہی تسلسل** یا، مختصراً، **تسلسل**[8] پر غور کرتے ہیں۔

$$\sum_{m=1}^{\infty} w_m = w_1 + w_2 + w_3 + \cdots \tag{17.2}$$

[8] series

w_m کو ترتیب کی **مقدار یا اجزاء**[9] کہتے ہیں۔ابتدائی n اجزاء کے مجموعہ

$$s_n = w_1 + w_2 + \cdots + w_n \tag{17.3}$$

کو تسلسل 17.2 کا n واں **جزوی مجموعہ**[10] کہتے ہیں۔ تسلسل 17.2 سے s_n ترک کرنے سے

$$R_n = w_{n+1} + w_{n+2} + w_{n+3} + \cdots \tag{17.4}$$

باقی رہ جاتا ہے جس کو تسلسل 17.2 کا، n اجزاء کے بعد، **باقی**[11] کہتے ہیں۔

اس طرح ہم تسلسل 17.2 کے ساتھ اس کے جزوی مجموعوں $s_1, s_2, s_3, \cdots$ کی ترتیب وابستہ کرتے ہیں۔اگر یہ ترتیب مرتکز ہو، مثلاً،

$$\lim_{n\to\infty} s_n = s$$

تب ہم کہتے ہیں کہ تسلسل 17.2 **مرکوز**[12] **یا مرتکز** ہے اور عدد s اس کی **قیمت**[13] **یا مجموعہ** کہلاتا ہے اور ہم درج ذیل لکھتے ہیں۔

$$s = \sum_{m=1}^{\infty} w_m = w_1 + w_2 + w_3 + \cdots$$

اگر جزوی مجموعوں کی ترتیب منفرج ہو تب ہم کہتے ہیں کہ تسلسل 17.2 **منفرج**[14] ہے۔

اگر تسلسل 17.2 مرکوز ہو اور اس کی قیمت s ہو تب

$$s = s_n + R_n \implies R_n = s - s_n \tag{17.5}$$

ہو گا۔مرکوزیت کی تعریف کے تحت n کو کافی بڑا لیتے ہوئے ہم $|R_n|$ کو جتنا چاہیں چھوٹا بنا سکتے ہیں۔ بہت سی صورتوں میں مرکوز تسلسل کا مجموعہ s تلاش کرنا ناممکن ہو گا۔تب حساب کی خاطر ہم اس کے جزوی مجموعہ s_n کو s کی تقریب تصور کریں گے اور R_n کا تخمینہ لگا کر تقریب کی درستگی کا جائزہ لیں گے۔

[9] terms
[10] partial sum
[11] remainder
[12] convergent
[13] value
[14] divergent

مثال 17.2: مرتکز اور منفرج تسلسل
تسلسل

$$\sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{2^m} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \cdots$$

مرکوز ہے اور چونکہ

$$s_n = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \cdots + \frac{1}{2^n} = 1 - \frac{1}{2^n} \qquad \implies \qquad \lim_{n \to \infty} s_n = 1$$

ہے لہٰذا تسلسل کی قیمت 1 ہے۔اس کے برعکس تسلسل

$$\sum_{m=1}^{\infty} m = 1 + 2 + 3 + \cdots$$

منفرج ہے اور تسلسل

$$\sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m = 1 - 1 + 1 - + \cdots$$

منفرج ہے چونکہ

$$s_0 = 1, \quad s_1 = 1 - 1 = 0, \quad s_2 = 1 - 1 + 1 = 1, \cdots$$

ہے اور ترتیب $1, 0, 1, 0, \cdots$ منفرج ہے۔

ہارمونی تسلسل[15]

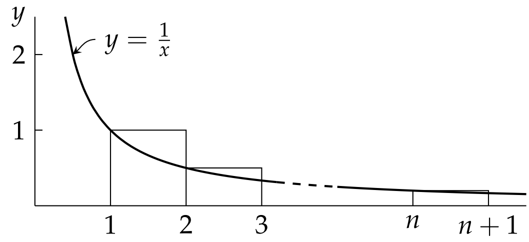
$$\sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots$$

منفرج ہے۔در حقیقت جزوی مجموعہ s_n

$$s_n = 1 + \frac{1}{2} + \cdots + \frac{1}{n}$$

شکل 17.2 میں n عدد مستطیل کے نیچے رقبہ کے برابر ہے۔یہ رقبہ قوس $y = \frac{1}{x}$ کے نیچے مطابقتی رقبہ A_n سے زیادہ ہے۔اب

$$A_n = \int_1^{n+1} \frac{\mathrm{d}x}{x} = \ln(n+1) \to \infty \qquad (n \to \infty)$$



شکل 17.5: شکل برائے مثال 17.2

ہے اور چونکہ $s_n > A_n$ ہے لہٰذا $n \to \infty$ کرنے سے $s_n \to \infty$ حاصل ہو گا جو انفراج کی تعریف ہے۔
□

مسئلہ 17.1 سے فوری طور پر تسلسل کے لئے درج ذیل مسئلہ حاصل ہوتا ہے۔

مسئلہ 17.3: حقیقی اور خیالی حصوں کی تسلسل

فرض کریں کہ $w_m = u_m + iv_m$ ہے۔تب تسلسل

$$\sum_{m=1}^{\infty} w_m = w_1 + w_2 + w_3 + \cdots$$

کی قیمت صرف اور صرف اس صورت $s = a + jb$ ہو گی جب حقیقی حصہ کی تسلسل اور خیالی حصہ کی تسلسل

$$\sum_{m=1}^{\infty} u_m = u_1 + u_2 + u_3 + \cdots \qquad \sum_{m=1}^{\infty} v_m = v_1 + v_2 + v_3 + \cdots$$

مرکوز ہوں اور حقیقی حصے کی تسلسل کی قیمت a اور خیالی حصے کی تسلسل کی قیمت b ہو۔

یہ مسئلہ حقیقی اور مخلوط تسلسل کے درمیان تعلق دیتا ہے۔اس سے زیادہ اہم تعلق درج ذیل تصور پر مبنی ہے۔

تسلسل $w_1 + w_2 + \cdots$ اس صورت **حتمی مرتکز**[16] کہلاتا ہے جب مطابقتی تسلسل

$$\sum_{m=1}^{\infty} |w_m| = |w_1| + |w_2| + \cdots \tag{17.6}$$

---

[15] harmonic series
[16] absolutely convergent

(جس کے اجزاء حقیقی اور غیر منفی ہیں) مرتکز ہو۔

اگر تسلسل $w_1 + w_2 + \cdots$ مرکوز ہو جبکہ تسلسل 17.6 منفرج ہو تب تسلسل **مشروط مرتکز**[17] کہلاتا ہے۔

مثال 17.3: **حتمی اور مشروط مرکوز تسلسل**
تسلسل

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{4} + \frac{1}{8} - \frac{1}{16} + - \cdots$$

حتمی مرتکز ہے چونکہ مطابقتی تسلسل 17.6 مرکوز ہے (مثال 17.2)۔اس کے برعکس تسلسل

$$1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + - \cdots$$

مشروط مرکوز ہے چونکہ تسلسل از خود (لیبنٹز آزمائش کے تحت) مرتکز ہے لیکن مطابقتی تسلسل 17.6 ہارمونی ہے جو منفرج ہے (مثال 17.2)۔ □

حتمی مرتکز تسلسل کی درج ذیل خاصیت بالکل واضح ہے۔

مسئلہ 17.4: اگر تسلسل $w_1 + w_2 + \cdots$ حتمی مرتکز ہو تب یہ تسلسل مرتکز ہو گا۔

ہم اگلے حصے کی آخر میں کوشی اصول مرکوزیت کی مدد سے مسئلہ 17.9 میں اس مسئلے کا سادہ ثبوت پیش کریں گے ۔

ہم آخر میں ایک سادہ مسئلہ پیش کرتے ہیں جو عموماً کارآمد ثابت ہوتا ہے۔

مسئلہ 17.5: اگر تسلسل $w_1 + w_2 + \cdots$ مرتکز ہو تب

$$\lim_{m\to\infty} w_m = 0 \tag{17.7}$$

ہو گا۔یوں وہ تسلسل جو مساوات 17.7 کو مطمئن نہ کرتا ہو منفرج ہو گا۔

[17] conditional convergent

ثبوت : فرض کریں کہ $w_1 + w_2 + \cdots$ مرتکز ہے اور اس کا مجموعہ s ہے۔ تب

$$w_{n+1} = s_{n+1} - s_n$$

اور

$$\lim_{n\to\infty}(s_{n+1} - s_n) = \lim_{n\to\infty} s_{n+1} - \lim_{n\to\infty} s_n = s - s = 0$$

ہو گا۔

□

یاد رہے کہ مساوات 17.7 مرکوزیت کے لئے لازمی لیکن ناکافی شرط ہے۔ مثلاً مثال 17.2 کی ہارمونی تسلسل مساوات 17.7 کو مطمئن کرتے ہوئے بھی منفرج ہے۔ مساوات 17.7 میں دوسری اور تیسری تسلسل مساوات 17.7 کو مطمئن نہیں کرتے ہیں لہٰذا وہ منفرج ہیں۔

17.3 کوشی اصول مرکوزیت برائے ترتیب اور تسلسل

کسی بھی ترتیب یا تسلسل کو استعمال کرنے سے پہلے ہم جاننا چاہیں گے کہ آیا وہ مرتکز ہے یا نہیں۔ چونکہ ہمیں پہلے سے حد معلوم نہیں ہوتا ہے لہٰذا مرکوزیت کی تعریف سے ایسا فیصلہ کرنا عموماً ممکن نہیں ہو گا۔ کوشی اصول مرکوزیت سے، حد جانے بغیر مرکوزیت دریافت کرتا ہے۔

کوشی اصول مرکوزیت میں ہم مسئلہ بُلزانو وائشٹراس زیر استعمال لائیں گے۔ مسئلہ بُلزانو وائشٹراس کو بیان کرنے کی خاطر درج ذیل تصور کی ضرورت ہو گی۔

نقطہ a اس صورت ترتیب $z_1, z_2, \cdots$ کا **تحدیدی نقطہ**[18] کہلائے گا جب کسی بھی دیے گئے $\epsilon > 0$ (جو جتنا چاہیں چھوٹا کیوں نا ہو) کے لئے درج ذیل درست ہو۔

$$|z_n - a| < \epsilon \qquad \text{(جہاں } n \text{ لامتناہی تعداد ہے)} \tag{17.8}$$

[18] limit point

جدول 17.1: تحدیدی نقطے، مرکوزیت، محدود ہونا (مثال 17.4)

ترتیب	تحدیدی نقطہ	مرتکز یا منفرج	محدود یا غیر محدود
$1, 2, 3, \cdots$	(کوئی نہیں)	منفرج	غیر محدود
$\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}, \cdots$	1	مرتکز	محدود
$\frac{1}{2}, 2, \frac{1}{3}, 3, \frac{1}{4}, 4, \cdots$	0	منفرج	غیر محدود
$\frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{1}{5}, \frac{4}{5}, \frac{1}{6}, \frac{5}{6}, \cdots$	0 اور 1	منفرج	محدود

جیومیٹریائی طور پر اس کا مطلب ہے کہ ϵ کو جتنا بھی چھوٹا کیوں نہ منتخب کیا جائے، رداس ϵ کا دائرہ جس کا مرکز a ہو، میں تسلسل کے نقطوں کی لامتناہی تعداد پائی جائے گی۔

دھیان رہے کہ مساوات 17.8 مطمئن ہونے کے باوجود دائرے کے باہر نقطوں کی تعداد لامتناہی ہو سکتی ہے اور ترتیب منفرج ہو سکتا ہے۔ در حقیقت مرتکز ترتیب کا حد ہی تحدیدی نقطہ ہو گا (کیوں؟) اور یہ ترتیب کا واحد تحدیدی نقطہ ہو گا۔ اگر کسی ترتیب کا ایک سے زیادہ تحدیدی نقطہ پایا جاتا ہو تب یہ ترتیب منفرج ہو گا۔

مزید، اگر ایک نقطہ لامتناہی بار کسی ترتیب میں پایا جاتا ہو تب تحدیدی نقطہ کی تعریف کے تحت یہی نقطہ اس ترتیب کا تحدیدی نقطہ ہو گا۔

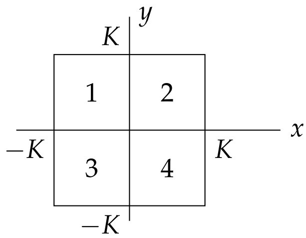
آئیں صورت حال کو سمجھنے کے لئے مثال 17.4 دیکھتے ہیں۔ یاد رہے کہ حصہ 17.1 کے آخر کے قریب محدود ہونے کی تعریف پیش کی گئی۔

مثال 17.4: تحدیدی نقطہ، مرکوزیت اور محدود ہونا
جدول 17.1 میں مختلف ممکنہ صورت حال دکھائے گئے ہیں۔ □

اس مثال میں دو محدود ترتیب کے تحدیدی نقطے پائے گئے جو درج ذیل اہم مسئلہ کے عین مطابق ہے۔

مسئلہ 17.6: بُلزانو[19] اور وائشسٹراس[20]
مخلوط مستوی میں محدود لامتناہی ترتیب $z_1, z_2, z_3, \cdots$ کا کم از کم ایک عدد تحدیدی نقطہ ہو گا۔

[19] جرمن ریاضی دان برنارٹ بُلزانو [1781-1848]
[20] جرمن ریاضی دان کارل وائشسٹراس [1815-1897]



شکل 17.6: مسئلہ 17.6 کا ثبوت

ثبوت: صاف ظاہر ہے کہ ہمیں دونوں شرائط کی ضرورت ہو گی: ایک متناہی ترتیب کا کوئی تحدیدی نقطہ نہیں ہو گا، اور ترتیب $1, 2, 3, \cdots$ جو لامتناہی لیکن غیر محدود ہے کا کوئی تحدیدی نقطہ نہیں ہے۔اس مسئلے کو ثابت کرنے کی خاطر محدود لامتناہی ترتیب $z_1, z_2, \cdots$ پر غور کرتے ہیں جہاں تمام n کے لئے K ایسا عدد ہے جو $|z_n| < K$ کو مطمئن کرتا ہو۔اگر z_n کی قیمتوں میں متناہی تعداد قیمتیں آپس میں مختلف ہوں، تب، چونکہ ترتیب لامتناہی ہے لہٰذا کوئی عدد z ترتیب میں ضرور لامتناہی بار پایا جائے گا، جو تحدیدی نقطہ کی تعریف کے تحت، اس ترتیب کا تحدیدی نقطہ ہو گا۔

آئیں اب اس صورت پر غور کرتے ہیں جب ترتیب میں لامتناہی تعداد کی مختلف قیمتیں پائی جاتی ہوں۔ہم ایک بڑا چکور Q_0 بناتے ہیں (شکل 17.6) جس میں تمام z_n پائے جاتے ہیں۔ہم اس چکور کو چار مماثل چکوروں میں تقسیم کرتے ہیں۔ظاہر ہے کہ ان میں سے کم از کم ایک چکور (بشمول چکور کی مکمل سرحد) میں ترتیب کے لامتناہی تعداد کے اجزاء پائے جائیں گے۔ ایسے چکور کو ہم Q_1 سے ظاہر کرتے ہیں۔یہ پہلا قدم ہے۔دوسرے قدم میں ہم Q_1 کو چار مماثل چکوروں میں تقسیم کرتے ہوئے اسی قاعدہ کے تحت چکور Q_2 منتخب کرتے ہیں۔اسی طرح چلتے ہوئے ہمیں چکوروں کی ترتیب $Q_0, Q_1, Q_2, \cdots, Q_n, \cdots$ یوں حاصل ہوتی ہے کہ $n \to \infty$ کرتے ہوئے چکور Q_n کے طرف کی لمبائی صفر کو پہنچتی ہے اور $n > m$ کی صورت میں Q_m میں تمام Q_n شامل ہوں گے۔یہاں صاف ظاہر ہے کہ وہ عدد (جس کو ہم $z = a$ کہتے ہیں) جو ان تمام چکوروں میں پایا جاتا ہو[21] ترتیب کا تحدیدی نقطہ ہو گا۔درحقیقت کسی بھی دیے گئے $\epsilon > 0$ کی صورت میں ہم N اتنا بڑا منتخب کر سکتے ہیں کہ چکور Q_N کے طرف کی لمبائی ϵ سے چھوٹی ہو، اور چونکہ Q_N میں لامتناہی تعداد کے z_n پائے جاتے ہیں لہٰذا لامتناہی تعداد کے z_n کے لئے $|z_n - a| < \epsilon$ ہو گا۔یوں ثبوت مکمل ہوتا ہے۔

□

[21] ایسے یکتا عدد $a = z$ کی موجودگی صاف واضح ہے لیکن حقیقتاً حقیقی اعداد کے نظام کی ایک مسلمہ سے یہ حقیقت حاصل ہوتی ہے جس کو مسلمہ کانتور اور دے دے کند کہتے ہیں۔ صفحہ 1221 پر حاشیہ دیکھیں۔

ہم اب اس حصے کی مرکزی مسئلہ کو پیش کرنے کے قابل ہیں۔

مسئلہ 17.7: **(کوشی اصول مرکوزیت برائے ترتیب)**
ترتیب $z_1, z_2, z_3, \cdots$ صرف اور صرف اس صورت مرکوز ہو گی جب ہر مثبت عدد $\epsilon > 0$ کے لئے ہم ایسا عدد N (جو ϵ پر منحصر ہو سکتا ہے) تلاش کر سکیں کہ $m > N$ اور $n > N$ کے لئے

$$|z_m - z_n| < \epsilon \qquad m > N,\, n > N \tag{17.9}$$

ہو؛ (یعنی $m > N, n > N$ کی صورت میں دو اجزاء z_m, z_n کا ایک دوسرے سے فاصلہ ϵ سے کم ہو)۔

ثبوت: (الف) فرض کریں کہ ترتیب $z, z_2, \cdots$ مرکوز ہے اور اس کا حد c ہے۔ تب دیے گئے $\epsilon > 0$ کے لئے ہم ایسا N تلاش کر سکتے ہیں کہ ہر $n > N$ کے لئے درج ذیل مطمئن ہو گا۔

$$|z_n - c| < \frac{\epsilon}{2} \qquad \text{ہر } n > N$$

یوں جب $m > N, n > N$ ہوں تب تکونی عدم مساوات کے تحت

$$|z_m - z_n| = \left|(z_m - c) - (z_n - c)\right| \leq |z_m - c| + |z_n - c| < \frac{\epsilon}{2} + \frac{\epsilon}{2} = \epsilon$$

ہو گا یعنی اگر ترتیب مرکوز ہو تب مساوات 17.9 مطمئن ہو گی۔

(ب) اب الٹ چلتے ہوئے دوسرا ثبوت پیش کرتے ہیں۔ ترتیب $z_1, z_2, \cdots$ جو مساوات 17.9 کو مطمئن کرتا ہو پر غور کرتے ہیں۔ ہم پہلے دکھاتے ہیں کہ یہ ترتیب محدود ہے۔ مساوات 17.9 میں ایک مقررہ ϵ اور ایک مقررہ $n = n_0 > N$ منتخب کریں۔ تب مساوات 17.9 کہتی ہے کہ ہر $m > N$ کے لئے ہر z_m، رداس ϵ کے قرص جس کا مرکز z_{n_0} ہو میں پایا جائے گا، اور ترتیب کے اجزاء کی متناہی تعداد قرص کے باہر پائی جائے گی۔ اب ظاہر ہے کہ ہم مبدا پر اتنا بڑا دائرہ لے سکتے ہیں کہ قرص اور z_n کے متناہی تعداد کے وہ اجزاء جو قرص کے باہر ہیں، اس دائرے کے اندر پائے جائیں۔ اس سے ظاہر ہے کہ یہ ترتیب محدود ہے، اور مسئلہ بُلزانو اور وائشٹراس (مسئلہ 17.6) کے تحت اس ترتیب کا کم از کم ایک تحدیدی نقطہ ہو گا، جس کو ہم L کہتے ہیں۔

ہم اب دکھائیں گے کہ یہ ترتیب مرکوز ہے اور اس کا حد L ہے۔ تحدیدی نقطہ کی تعریف سے اخذ کیا جا سکتا ہے کہ دیے گئے $\epsilon > 0$ کی صورت میں لا متناہی تعداد کی n کے لئے $|z_n - L| < \frac{\epsilon}{2}$ ہو گا۔ چونکہ مساوات 17.9 کسی بھی $\epsilon > 0$ کے لئے درست ہے، جب کوئی $\epsilon > 0$ دیا گیا ہو ہم ایسا N^* تلاش کر سکتے ہیں کہ

کسی بھی $m > N^*, n > N^*$ کے لئے $|z_m - z_n| < \frac{\epsilon}{2}$ ہو۔ایک مقررہ $n > N^*$ یوں منتخب کریں کہ $|z_n - L| < \frac{\epsilon}{2}$ ہو اور فرض کریں کہ m ایسا عدد صحیح ہے جو N^* سے بڑا ہو۔تب تکونی عدم مساوات سے

$$|z_m - L| = \left|(z_m - z_n) + (z_n - L)\right| \leq |z_m - z_n| + |z_n - L| < \frac{\epsilon}{2} + \frac{\epsilon}{2} = \epsilon$$

ہو گا، یعنی، تمام $m > N^*$ کے لئے $|z_m - L| < \epsilon$ ہو گا، جو مرکوزیت کی تعریف ہے۔یوں یہ ترتیب مرکوز ہے اور اس کا حد L ہے۔

□

کسی بھی دیے گئے تسلسل $w_1 + w_2 + \cdots$ کے جزوی مجموعوں s_n کی ترتیب پر ہم موجودہ مسئلے کا اطلاق کر سکتے ہیں۔ یوں عدم مساوات 17.9 درج ذیل صورت اختیار کرے گی

$$|s_m - s_n| < \epsilon \qquad (m > N, n > N)$$

یا اگر ہم $m = n + p$ لکھیں تب

$$\left|s_{n+p} - s_n\right| < \epsilon \qquad (n > N, p = 1, 2, \cdots)$$

صورت اختیار کرے گی۔اب جزوی مجموعہ کی تعریف سے درج ذیل ہو گا۔

$$s_{n+p} - s_n = w_{n+1} + w_{n+2} + \cdots + w_{n+p}$$

اس سے درج ذیل بنیادی مسئلہ ثابت ہوتا ہے۔

مسئلہ 17.8: (کوشی اصول مرکوزیت برائے تسلسل)
تسلسل $w_1 + w_2 + \cdots$ صرف اور صرف اس صورت مرتکز ہو گا جب ہر دیے گئے $\epsilon > 0$ (جو جتنا کم کیوں نہ ہو) کے لئے ہم ایسا N (جو عموماً ϵ پر منحصر ہو گا) تلاش کر سکیں کہ ہر $n > N$ اور $p = 1, 2, \cdots$ کے لئے درج ذیل مطمئن ہو۔

$$\left|w_{n+1} + w_{n+2} + \cdots + w_{n+p}\right| < \epsilon \qquad n > N, \; p = 1, 2, \cdots$$

اس اہم مسئلے کی پہلی استعمال کے طور پر ہم مسئلہ 17.4 کو ثابت کرتے ہیں۔

مسئلہ 17.9: اگر تسلسل $w_1 + w_2 + \cdots$ حتمی مرتکز ہو تب یہ تسلسل مرتکز ہو گا۔

ثبوت: عمومی عدم مساوات 14.26 سے درج ذیل ہو گا۔

$$\left|w_{n+1} + \cdots + w_{n+p}\right| \le |w_{n+1}| + |w_{n+2}| + \cdots + \left|w_{n+p}\right| \tag{17.10}$$

چونکہ ہم فرض کر چکے ہیں کہ تسلسل $|w_1| + |w_2| + \cdots$ مرتکز ہے لہٰذا مسئلہ 17.8 کے تحت مساوات 17.10 کا دایاں ہاتھ ہر $n > N$ (جہاں N کافی بڑا ہے) اور $p = 1, 2, \cdots$ کے لئے کسی بھی دیے گئے $\epsilon > 0$ سے چھوٹا ہو گا۔ یوں یہی کچھ مساوات 17.10 کے بائیں ہاتھ کے لئے بھی درست ہو گا لہٰذا، اسی مسئلہ کے تحت، تسلسل $w_1 + w_2 + \cdots$ مرتکز ہو گا۔

□

سوالات

کیا سوال 17.21 تا سوال 17.35 میں دیے گئے ترتیب $z_1, z_2, \cdots, z_n, \cdots$ محدود ہیں؟ مرتکز ہیں؟ ان کے تحدیدی نقطے تلاش کریں۔

سوال 17.21: $z_n = (i2)^n$
جواب: غیر محدود، منفرج، کوئی نہیں

سوال 17.22: $z_n = 1 + i^n$
جواب: محدود، منفرج، $0, 2, 1+i, 1-i$

سوال 17.23: $z_n = (-1)^n + \frac{i}{n}$
جواب: محدود، منفرج، $1, -1$

سوال 17.24: $z_n = e^{\frac{in\pi}{2}}$
جواب: محدود، منفرج، $1, -1, i, -i$

سوال 17.25: $z_n = i^n \cos n\pi$
جواب: محدود، منفرج، $1, -1, i, -i$

سوال 17.26: $z_n = i^n \cosh n\pi$
جواب: غیر محدود، منفرج، کوئی نہیں

سوال 17.27: $z_n = (1-i)^n$
جواب: غیر محدود، منفرج، کوئی نہیں

سوال 17.28: $z_n = (1+i)^{2n}$
جواب: غیر محدود، منفرج، کوئی نہیں

سوال 17.29: $z_n = \frac{(3+i4)^n}{n!}$
جواب: محدود، مرتکز، 0

سوال 17.30: $z_n = i\pi + \sin n\pi$
جواب: محدود، مرتکز، $i\pi$

سوال 17.31: $z_n = \frac{\cos n\pi}{\sqrt{n}}$
جواب: محدود، مرتکز، 0

سوال 17.32: $z_n = i^n n^2$
جواب: غیر محدود، منفرج، کوئی نہیں

سوال 17.33: $(n = 4, 5, \cdots)$ $z_1 = 1, z_2 = 2, z_3 = 3, z_n = z_{n-3} - z_{n-2} + z_{n-1}$
جواب: محدود، منفرج، $1, 2, 3$

سوال 17.34: $(n = 3, 4, \cdots)$ $z_1 = \frac{1}{3}, z_2 = \frac{1}{4}, z_n = \frac{z_{n-2}}{z_{n-1}}$
جواب: غیر محدود، منفرج، 0

سوال 17.35: $(n = 3, 2, \cdots)$ $z_1 = 1, z_2 = i, z_n = z_{n-2} z_{n-1}$
جواب: محدود، منفرج، $1, -1, i, -i$

17.4 یک سر حقیقی ترتیب۔لیبنٹز آزمائش برائے حقیقی تسلسل

اس حصے میں حقیقی ترتیب اور حقیقی تسلسل کے دو مسئلے پیش کیے گئے ہیں جن کے مخلوط ترتیب اور مخلوط تسلسل کے مماثل مسئلے نہیں پائے جاتے ہیں۔دونوں مسئلے عملاً بہت اہم ہیں۔

ایسی حقیقی ترتیب $x_1, x_2, \cdots, x_n, \cdots$ جس میں

$$x_1 \le x_2 \le x_3 \le \cdots$$

ہو **یک سر بڑھتی**[22] کہلاتی ہے۔اسی طرح اگر

$$x_1 \ge x_2 \ge x_3 \ge \cdots$$

ہو تب یہ **یک سر گھٹتی**[23] کہلائے گی۔یک سر بڑھتی یا یک سر گھٹتی ترتیب کو **یک سر ترتیب**[24] کہتے ہیں۔

مثلاً منفرج ترتیب $1, 2, 3, \cdots$ یک سر اور غیر محدود ہے۔مرتکز ترتیب $\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \cdots$ یک سر اور محدود ہے، اور ہم ثابت کریں گے کہ یہ دو خواص مرکوزیت کے لئے کافی ہیں:

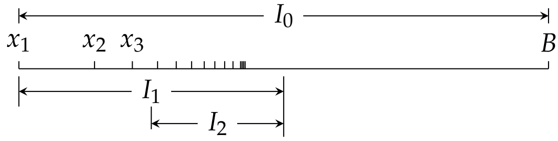
مسئلہ 17.10: **(حقیقی ترتیب کی مرکوزیت)**
محدود اور یک سر حقیقی ترتیب مرکوز ہو گی۔

ثبوت: فرض کریں کہ $x_1, x_2, \cdots$ محدود یک سر ترتیب ہے۔تب اس کے اجزاء کسی عدد B سے چھوٹے ہوں گے اور، چونکہ، تمام n کے لئے $x_1 \le x_n$ ہے لہٰذا تمام اجزاء وقفہ $x_1 \le x_n \le B$ میں پائے جائیں گے جس کو ہم I_0 سے ظاہر کرتے ہیں۔ہم وقفہ I_0 کو دو برابر لمبائی کے ٹکڑوں میں تقسیم کرتے ہیں۔اگر I_0 کے دائیں نصف (بشمول اس کے دونوں سر) میں ترتیب کے اجزاء پائے جاتے ہوں تب اس ٹکڑے کو ہم I_1 سے ظاہر کرتے ہیں۔اگر اس میں ترتیب کے اجزاء نہ پائے جاتے ہوں تب ہم I_0 کے بائیں نصف (بشمول اس کے دونوں سر) کو ہم I_1 سے ظاہر کرتے ہیں۔یہ پہلا قدم ہے (شکل 17.7)۔

دوسرے قدم پر ہم I_1 کو برابر لمبائی کے دو ٹکڑوں میں تقسیم کرتے ہوئے اسے اصول کے تحت I_2 منتخب کرتے ہیں۔

---

[22] monotone increasing
[23] monotone decreasing
[24] monotone sequence



شکل 17.7: شکل برائے ثبوت مسئلہ 17.10

اسی طرح چلتے ہوئے ہمیں بتدریج چھوٹے وقفے $I_0, I_1, I_2, \cdots$ ملتے ہیں جن کے خواص کچھ یوں ہیں: $n > m$ کی صورت میں I_m میں تمام I_n شامل ہیں۔ ترتیب کا کوئی جزو I_m کے دائیں جانب نہیں پایا جاتا ہے اور چونکہ ترتیب یک سر بڑھتی ہے، کسی عدد N (جو عموماً m پر منحصر ہو گا) سے زیادہ تمام n کے لئے x_n وقفہ I_m میں پائے جاتے ہیں۔ جیسے جیسے m لامتناہی تک پہنچتا ہو ویسے ویسے I_m کی لمبائی صفر کو پہنچتی ہے۔ یوں واحد ایک عدد ایسا ہو گا جو ان تمام وقفوں میں پایا جائے گا[25]۔ اس عدد کو ہم L کہتے ہیں۔ ہم اب با آسانی ثابت کر سکتے ہیں کہ یہ ترتیب مرتکز ہے اور اس کا حد L ہے۔

ہم ایسا m منتخب کرتے ہیں کہ I_m کی لمبائی کسی بھی دیے عدد $\epsilon > 0$ سے کم ہو۔ یوں L اور تمام x_n، جہاں $n > N(m)$ ہے، I_m میں پائے جائیں گے، اور، یوں ان تمام n کے لئے $|x_n - L| < \epsilon$ ہو گا۔ یوں بڑھتی ترتیب کے لئے ثبوت مکمل ہوتا ہے۔ گھٹتی ترتیب کے لئے ثبوت بالکل ایسا ہی ہے پس وقفوں کی انتخاب کے دوران دائیں کی جگہ بائیں اور بائیں کی جگہ دائیں کا لفظ استعمال کریں۔

□

ہم ایسے حقیقی تسلسل کے ایک اہم مسئلہ کو اب ثابت کرتے ہیں جس کے اجزاء کی علامت متواتر بدلتی ہے اور جس کے اجزاء کی حتمی قیمت بتدریج گھٹتی ہے۔ یہ مسئلہ مرکوزیت کے لئے درکار کافی شرائط اور تسلسل کے باقی کا تخمینہ پیش کرتا ہے

مسئلہ 17.11: لیبنٹز آزمائش برائے حقیقی تسلسل
فرض کریں کہ حقیقی $u_1, u_2, \cdots$ درج ذیل کو مطمئن کرتے ہیں۔

$$(\text{الف})\quad u_1 \geq u_2 \geq u_3 \geq \cdots, \qquad (\text{ب})\quad \lim_{m\to\infty} u_m = 0 \tag{17.11}$$

[25] یہ فقرہ صریحاً درست معلوم ہوتا ہے، لیکن حقیقت میں ایسا نہیں ہے۔ یہ درحقیقت حقیقی اعدادی نظام کا درج ذیل صورت میں ایک مسلمہ ہے۔ فرض کریں کہ $J_1, J_2, \cdots$ ایسے بند وقفے ہیں کہ $n > m$ کے لئے تمام J_n وقفہ J_m شامل ہوں اور m کی قیمت لامتناہی تک پہنچنے سے J_m کی لمبائی صفر تک پہنچتی ہو۔ تب ایسا واحد ایک حقیقی عدد ہو گا جو ان تمام وقفوں میں پایا جائے گا۔ اس کو مسلمہ کنتور اور دے دے کند کہتے ہیں جو دو جرمن ریاضی دان گیورگ کنتور [1845-1918] جنہوں نے نظریہ سلسلہ ایجاد کیا اور رشارت دے دے کند [1831-1916] کے نام ہے۔ (ایسا وقفہ جس کے سر بھی وقفے میں شامل ہوں بند وقفہ کہلاتا ہے جبکہ وہ وقفہ جس کے سر وقفہ کا حصہ نہ ہوں، کھلا وقفہ کہلاتا ہے۔)

تب تسلسل

$$u_1 - u_2 + u_3 - u_4 + - \cdots$$

مرتکز ہو گی اور n اجزاء کے بعد تسلسل کا باقی کا تخمینہ درج ذیل ہو گا۔

$$|R_n| \leq u_{n+1} \tag{17.12}$$

ثبوت: فرض کریں کہ s_n تسلسل کا n واں جزوی مجموعہ ہے۔تب مساوات 17.11-الف کے تحت

$$\begin{aligned} s_1 &= u_1, & s_2 &= u_1 - u_2 \leq s_1, \\ s_3 &= s_2 + u_3 \geq s_2, & s_3 &= s_1 - (u_2 - u_3) \leq s_1, \end{aligned}$$

ہوں گے لہٰذا $s_2 \leq s_3 \leq s_1$ ہو گا۔اسی طرح چلتے ہوئے ہم درج ذیل نتیجہ اخذ کرتے ہیں (شکل 17.8)

$$s_1 \geq s_3 \geq s_5 \geq \cdots \geq s_6 \geq s_4 \geq s_2 \tag{17.13}$$

جس کے تحت طاق جزوی مجموعے محدود یک سر ترتیب بناتے ہیں اور ایسا ہی جفت جزوی مجموعے کرتے ہیں۔یوں مسئلہ 17.10 کے تحت دونوں ترتیب مرتکز ہوں گے مثلاً:

$$\lim_{n\to\infty} s_{2n+1} = s, \quad \lim_{n\to\infty} s_{2n} = s^*$$

اب چونکہ $s_{2n+1} - s_{2n} = u_{2n+1}$ ہے لہٰذا ہم دیکھ سکتے ہیں کہ مساوات 17.11-ب سے مراد

$$s - s^* = \lim_{n\to\infty} s_{2n+1} - \lim_{n\to\infty} s_{2n} = \lim_{n\to\infty} (s_{2n+1} - s_{2n}) = \lim_{n\to\infty} u_{2n+1} = 0$$

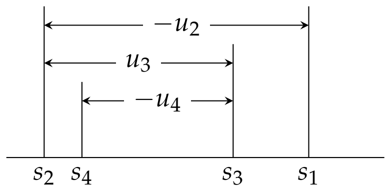
ہے۔اس طرح $s = s^*$ ہو گا لہٰذا ترتیب مرتکز ہے اور اس کا حد s ہو گا۔

ہم اب مساوات 17.12 ثابت کرتے ہیں جو تسلسل کے باقی کا تخمینہ پیش کرتا ہے۔چونکہ $s_n \to s$ ہے لہٰذا مساوات 17.13 سے درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$s_{2n+1} \geq s \geq s_{2n}, \quad s_{2n-1} \geq s \geq s_{2n}$$

ان سے s_{2n} اور s_{2n-1} تفریق کرتے ہوئے درج ذیل حاصل ہو گا۔

$$s_{2n+1} - s_{2n} \geq s - s_{2n} \geq 0, \quad 0 \geq s - s_{2n-1} \geq s_{2n} - s_{2n-1}$$



شکل 17.8: ثبوت مسئلہ 17.11 (لیبنٹز آزمائش)

ان میں بایاں عدم مساوات u_{2n+1} کے برابر ہے جبکہ دایاں عدم مساوات $-u_{2n}$ کے برابر ہے اور عدم مساوات کی علامتوں کے درمیان باقیات R_{2n} اور R_{2n-1} پائے جاتے ہیں۔یوں ان عدم مساوات کو

$$u_{2n+1} \geq R_{2n} \geq 0, \quad 0 \geq R_{2n-1} \geq -u_{2n}$$

لکھا جا سکتا ہے اور ہم دیکھتے ہیں کہ ان سے مراد مساوات 17.12 ہے۔یوں ثبوت مکمل ہوتا ہے۔

□

سوالات

کیا سوال 17.36 تا سوال 17.45 میں دیے ترتیب محدود ہیں؟ مرتکز ہیں؟ یک سر ہیں؟ ان کے تحدیدی نقطے تلاش کریں۔

سوال 17.36: $1, \frac{1}{3}, \frac{1}{9}, \frac{1}{27}, \cdots$
جواب: محدود، مرتکز، یک سر، 0

سوال 17.37: $2, -\frac{1}{2}, 3, -\frac{1}{3}, 4, -\frac{1}{4}, \cdots$
جواب: غیر محدود، منفرج، یک سر، 0

سوال 17.38: $2, 2^2, 2^3, 2^4, \cdots$
جواب: غیر محدود، منفرج، یک سر، کوئی نہیں

سوال 17.39: $1, \sqrt{2}, \sqrt[3]{3}, \sqrt[4]{4}, \cdots$
جواب: محدود، مرتکز، غیر یک سر، 1

سوال 17.40: $\frac{7}{6}, \frac{11}{6}, \frac{8}{7}, \frac{13}{7}, \frac{15}{8}, \cdots$
جواب: محدود، منفرج، غیر یک سر، $1, 2$

سوال 17.41: $\ln 1, \ln 2, \ln 3, \cdots$
جواب: غیر محدود، منفرج، یک سر، کوئی نہیں

سوال 17.42: $\frac{4}{1!}, \frac{4^2}{2!}, \frac{4^3}{3!}, \cdots$
جواب: محدود، مرتکز، غیر یک سر، 0

سوال 17.43: $a, a^2, a^3, \cdots$
جواب: اگر $a > 1$ ہو تب غیر محدود، منفرج، یک سر؛ اگر $0 < a < 1$ ہو تب محدود، مرتکز، یک سر، 0؛ اگر $a = 1$ ہو تب محدود، منفرج، یک سر، 1؛ اگر $a = -1$ ہو تب محدود، منفرج، غیر یک سر، $1, -1$؛ اگر $a < -1$ ہو تب غیر محدود، منفرج، غیر یک سر

سوال 17.44: $c, 2c^2, 3c^3, \cdots \quad (|c| < 1)$
جواب: محدود، مرتکز، تحدیدی نقطہ 0 اور $0 \le c \le \frac{1}{2}$ کی صورت میں یک سر

سوال 17.45: $c, 2^2c^2, 3^2c^3, 4^2c^4, \cdots \quad (|c| < 1)$

کیا سوال 17.46 تا سوال 17.49 میں دی گئی تسلسل مرتکز یا منفرج ہے؟

سوال 17.46: $1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{9} - \frac{1}{27} + - \cdots$
جواب: مرتکز

سوال 17.47: $1 - \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{1}{\sqrt{4}} + - \cdots$
جواب: مرتکز

سوال 17.48: $\frac{3}{2} - \frac{4}{3} + \frac{5}{4} - \frac{6}{5} + - \cdots$
جواب: مسئلہ 17.5 کے تحت منفرج ہے

سوال 17.49: $\frac{1}{\ln 2} + \frac{1}{\ln 3} + \frac{1}{\ln 4} + \cdots$

دکھائیں کہ سوال 17.50 تا سوال 17.55 میں دیے گئے تسلسل مرتکز ہیں۔ تسلسل کے مجموعہ s میں خلل ϵ کو 0.01 سے کم رکھنے کی خاطر تسلسل کے کتنے اجزاء درکار ہوں گے؟

سوال 17.50: $s = \frac{1}{2} - \frac{1}{4} + \frac{1}{8} - + \cdots$
جواب: 6

سوال 17.51: $s = 1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{6} - \frac{1}{12} + \frac{1}{24} - + \cdots$
6

سوال 17.52: $s = 1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{9} - \frac{1}{27} + - \cdots$
جواب: 5

سوال 17.53: $s = 1 - 1 + \frac{1}{2!} - \frac{1}{3!} + \frac{1}{4!} - + \cdots$

سوال 17.54: $s = 1 - \frac{1}{3!} + \frac{1}{5!} - \frac{1}{7!} + - \cdots$
جواب: 2

سوال 17.55: $s = 1 - \frac{1}{2!} + \frac{1}{4!} - \frac{1}{6!} + - \cdots$

17.5 تسلسل کی مرکوزیت اور انفراج کی آزمائشیں

کسی بھی تسلسل کو حساب یا دیگر مقاصد کے لئے استعمال کرنے سے پہلے اس کی مرکوزیت جاننا ضروری ہے۔انجینئری حساب کے مسائل میں اس کا جواب عموماً مرکوزیت اور انفراج کے دیگر آزمائشوں[26] میں سے کسی ایک کے اطلاق سے حاصل کرنا ممکن ہو گا۔یوں مرکوزیت اور انفراج کی آزمائشیں عملاً نہایت اہم ہیں۔

حقیقی تسلسل کی انفراج کی آزمائش کے سادہ اصول مسئلہ 17.5 اور لیبنٹز آزمائش پر ہم پہلے غور کر چکے ہیں۔ درج ذیل مسئلہ مرکوزیت کی دیگر آزمائشوں کا جواز ہے۔

مسئلہ 17.12: **تقابلی آزمائش**
اگر تسلسل $w_1 + w_2 + \cdots$ دیا گیا ہو اور ہم غیر منفی اجزاء والا ایسا تسلسل $b_1 + b_2 + \cdots$ تلاش کر سکیں کہ

$$|w_n| \leq b_n \quad n = 1, 2, \cdots \tag{17.14}$$

[26] tests

ہو تب دیا گیا تسلسل حتمی مرتکز ہو گا۔

ثبوت: چونکہ تسلسل $b_1+b_2+\cdots$ مرتکز ہے لہٰذا مسئلہ 17.8 کے تحت کسی بھی دیے گئے $\epsilon>0$ کے لئے ہم ایسا N تلاش کر سکتے ہیں کہ ہر $n>N$ اور $p=1,2,\cdots$ کے لئے درج ذیل ہو گا۔

$$b_{n+1}+\cdots+b_{n+p}<\epsilon \qquad n>N, \quad p=1,2,\cdots$$

اس کو مساوات 17.14 کے ساتھ ملا کر ان n اور p کے لئے درج ذیل اخذ کیا جا سکتا ہے۔

$$|w_{n+1}|+\cdots+\left|w_{n+p}\right|\le b_{n+1}+\cdots+b_{n+p}<\epsilon$$

یوں مسئلہ 17.8 کے تحت تسلسل $|w_1|+|w_2|+\cdots$ مرتکز ہو گا اور دیا گیا تسلسل حتمی مرتکز ہو گا۔

□

مسئلہ 17.12 سے دو اہم آزمائشیں اخذ کرنے کی خاطر درج ذیل ثابت کرتے ہیں۔

مسئلہ 17.13: **ہندسی تسلسل**
$|q|<1$ کی صورت میں ہندسی تسلسل

$$\sum_{m=0}^{\infty} q^m = 1+q+q^2+\cdots$$

مرتکز ہو گا اور اس کا مجموعہ $\frac{1}{1-q}$ ہو گا جبکہ $|q|\ge 1$ کی صورت میں ہندسی تسلسل منفرج ہو گا۔

ثبوت: جب $|q|\ge 1$ ہو تب $|q^n|\ge 1$ ہو گا لہٰذا مسئلہ 17.5 کے تحت تسلسل منفرج ہو گا۔اب $|q|<1$ کی صورت میں n واں جزوی مجموعہ

$$s_n=1+q+\cdots+q^n$$

ہو گا جس کو q سے ضرب دینے سے

$$qs_n=q+q^2+\cdots+q^{n+1}$$

ملتا ہے۔ان کی تفریق سے باقی تمام اجزاء آپس میں کٹ جاتے ہیں اور

$$s_n-qs_n=(1-q)s_n=1-q^{n+1}$$

حاصل ہوتا ہے۔چونکہ $q \neq 1$ ہے لہٰذا $1 - q \neq 0$ ہو گا اور یوں ہم s_n کے لئے حل کرتے ہوئے درج ذیل حاصل کرتے ہیں۔

$$s_n = \frac{1-q^{n+1}}{1-q} = \frac{1}{1-q} - \frac{q^{n+1}}{1-q} \tag{17.15}$$

چونکہ $|q| < 1$ ہے لہٰذا $n \to \infty$ کی صورت میں آخری جزو صفر تک پہنچتا ہے۔یوں تسلسل مرتکز ہے اور اس کی قیمت $\frac{1}{1-q}$ ہے۔

□

مسئلہ 17.12 اور مسئلہ 17.13 سے دو اہم آزمائشیں، تناسبی آزمائش اور جذری آزمائش حاصل کرتے ہیں۔

مسئلہ 17.14: تناسبی آزمائش
ہم درج ذیل تسلسل پر غور کرتے ہیں۔

$$w_1 + w_2 + w_3 + \cdots$$

فرض کریں کہ $n = 1, 2, \cdots$ کے لئے $w_n \neq 0$ ہے اور درج ذیل تناسب کی ترتیب مرتکز ہے اور اس کا حد L ہے۔

$$\left|\frac{w_{n+1}}{w_n}\right| \qquad n = 1, 2, \cdots$$

تب $L < 1$ کی صورت میں تسلسل حتمی مرتکز ہے جبکہ $L > 1$ کی صورت میں تسلسل منفرج ہے۔(یہ آزمائش $L = 1$ کی صورت میں ناکام ہے اور اس سے کچھ اخذ نہیں کیا جا سکتا ہے۔)

ثبوت: ہم درج ذیل فرض کر چکے ہیں۔

$$\lim_{n\to\infty} k_n = L \qquad k_n = \left|\frac{w_{n+1}}{w_n}\right|$$

ظاہر ہے کہ k_n اور L حقیقی ہیں۔حد کی تعریف کے تحت، کسی بھی دیے گئے $\epsilon > 0$ کے لئے ہم ایسا N تلاش کر سکتے ہیں کہ ہر $n > N$ کے لئے k_n وقفہ $L - \epsilon$ تا $L + \epsilon$ پر پایا جاتا ہو یعنی:

$$\text{(الف)} \quad k_n < L + \epsilon \qquad \text{(ب)} \quad k_n > L - \epsilon \qquad (n > N) \tag{17.16}$$

ہم اب $L < 1$ کی صورت پر غور کرتے ہیں۔ہم $q = L + \epsilon$ لکھتے ہیں اور $\epsilon = \frac{1-L}{2}$ لیتے ہیں۔یوں $\epsilon > 0$ ہو گا اور ہم مساوات 17.16-الف کو

$$k_n < q = L + \frac{1-L}{2} = \frac{1+L}{2}$$

لکھ سکتے ہیں۔چونکہ $L < 1$ ہے لہٰذا $q < 1$ ہو گا۔اب ہم درج ذیل لکھ سکتے ہیں۔

$$\begin{aligned}(17.17)\quad & |w_{N+1}| + |w_{N+2}| + |w_{N+3}| + \cdots \\ &= |w_{N+1}| \left(1 + \left|\frac{w_{N+2}}{w_{N+1}}\right| + \left|\frac{w_{N+3}}{w_{N+2}}\right|\left|\frac{w_{N+2}}{w_{N+1}}\right| + \cdots\right) \\ &= |w_{N+1}| \left(1 + k_{N+1} + k_{N+2}k_{N+1} + k_{N+3}k_{N+2}k_{N+1} + \cdots\right)\end{aligned}$$

چونکہ $k_n < q < 1$ ہے لہٰذا اس تسلسل کا ہر جزو درج ذیل ہندسی تسلسل کے مطابقتی جزو سے کم ہے۔

$$|w_{N+1}| \left(1 + q + q^2 + q^3 + \cdots\right)$$

چونکہ $q < 1$ ہے لہٰذا مسئلہ 17.13 کے تحت تسلسل مرتکز ہو گا۔مسئلہ 17.12 کے تحت مساوات 17.17 میں دیا گیا تسلسل مرتکز ہو گا۔یوں تسلسل $|w_1| + |w_2| + \cdots$ مرتکز ہو گا۔اس سے مراد تسلسل $w_1 + w_2 + \cdots$ کی حتمی مرکوزیت ہے۔

ہم اب $L > 1$ کی صورت پر غور کرتے ہیں۔ہم $\epsilon = \frac{L-1}{2}$ منتخب کرتے ہیں۔یوں ظاہر ہے کہ $\epsilon > 0$ ہو گا اور مساوات 17.16-ب درج ذیل صورت اختیار کرتی ہے

$$k_n > L - \epsilon = \frac{1+L}{2} > 1 \qquad (n > N) \tag{17.18}$$

یعنی:

$$k_n = \left|\frac{w_{n+1}}{w_n}\right| > 1 \quad \implies \quad |w_{n+1}| > |w_n| \qquad (n > N) \tag{17.19}$$

یہ آخری عدم مساوات کہتی ہے کہ اجزاء کی حتمی قیمت بتدریج بڑھتی ہے لہٰذا مسئلہ 17.5 کے تحت تسلسل منفرج ہو گا۔($L = 1$ کی صورت میں تسلسل مرتکز یا منفرج ہو سکتا ہے اور تناسبی آزمائش کارآمد نہیں ہو گی۔)

□

$L = 1$ کی صورت میں مرتکز اور منفرج تسلسل کی مثال پیش کرتے ہیں۔ہم مثال 17.2 میں دیکھ چکے ہیں کہ ہارمونی تسلسل

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots$$

منفرج ہے۔اس کے لئے $n \to \infty$ کی صورت میں

$$\frac{w_{n+1}}{w_n} = \frac{n}{n+1} \equiv L = 1 \qquad n \to \infty$$

حاصل ہوتا ہے۔اس کے برعکس درج ذیل تسلسل

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = 1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{9} + \cdots \tag{17.20}$$

مرتکز ہے جبکہ اس کے لئے

$$\frac{w_{n+1}}{w_n} = \frac{n^2}{(n+1)^2} \equiv L = 1 \qquad n \to \infty$$

حاصل ہوتا ہے۔مساوات 17.20 کی مرکوزیت ثابت کرتے ہیں۔اس کا n ویں جزوی مجموعہ

$$s_n = 1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{9} + \cdots + \frac{1}{n^2}$$

ہو گا۔ظاہر ہے کہ $s_n > 0$ ہو گا اور (شکل 17.9)

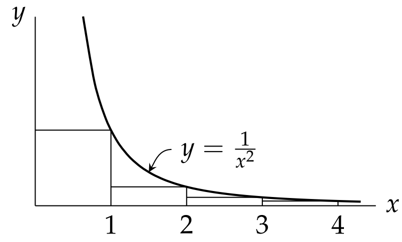
$$s_n \le 1 + \int_1^n \frac{\mathrm{d}x}{x^2} = 2 - \frac{1}{n}$$

ہو گا۔اس مساوات کے تحت جزوی مجموعوں کی ترتیب محدود ہے۔چونکہ تسلسل کے اجزاء مثبت ہیں، تسلسل یک سر بڑھتا تسلسل ہے لہٰذا مسئلہ 17.10 کے تحت تسلسل مرتکز ہو گا۔

درج ذیل تناسبی آزمائش سے زیادہ عمومی آزمائش ہے البتہ اس کا استعمال نسبتاً مشکل ثابت ہوتا ہے۔

مسئلہ 17.15: جذری آزمائش
درج ذیل تسلسل پر غور کریں۔

$$w_1 + w_2 + w_3 + \cdots$$



شکل 17.9: تسلسل 17.20 کی مرکوزیت

فرض کریں کہ درج ذیل جذر کی ترتیب

$$\sqrt[n]{|w_n|} \qquad n = 1, 2, \cdots$$

مرتکز ہے اور اس کا حد L ہے۔تب $L < 1$ کی صورت میں دیا گیا تسلسل حتمی مرتکز ہو گا جبکہ $L > 1$ کی صورت میں تسلسل منفرج ہو گا۔ ($L = 1$ کی صورت میں آزمائش کارآمد نہیں ہو گی۔)

ثبوت: اگر $L < 1$ ہو، تب، تناسبی آزمائش کی طرح، ہم $q < 1$ منتخب کرتے ہوئے ایسا مطابقتی N تلاش کرتے ہیں کہ ہر $n > N$ کے لئے درج ذیل مطمئن ہو۔

$$k_n^* \equiv \sqrt[n]{|w_n|} < q < 1 \qquad \text{ہر } n > N$$

اس سے درج ذیل حاصل ہو گا۔

$$|w_n| < q^n < 1 \qquad (n > N)$$

یوں ہندسی تسلسل کے ساتھ موازنہ کرنے سے ہم دیکھتے ہیں کہ تسلسل $|w_N| + |w_{N+1}| + \cdots$ مرتکز ہو گا۔اس طرح تسلسل $w_1 + w_2 + \cdots$ حتمی مرتکز ہو گا۔

اگر $L > 1$ ہو، تب کافی بڑے n کے لئے $\sqrt[n]{|w_n|} > 1$ ہو گا۔یوں ان n کے لئے $|w_n| > 1$ ہو گا لہٰذا مسئلہ 17.5 کے تحت تسلسل منفرج ہو گا۔

اگر $L = 1$ ہو تب آزمائش کارآمد نہیں رہتی ہے۔

$\square$

$L = 1$ کی صورت میں آزمائش کی ناقص پن کو دو تسلسلوں کی مدد سے دیکھتے ہیں۔ ہارمونی تسلسل کی صورت میں $L = 1$ اور

$$\sqrt[n]{\frac{1}{n}} = \frac{1}{n^{\frac{1}{n}}} = \frac{1}{e^{(1/n)\ln n}} \to \frac{1}{e^0} = 1 \qquad (n \to \infty)$$

ہو گا، چونکہ $\frac{1}{n}\ln n \to 0$ ہے۔ اسی طرح تسلسل 17.20 کے لئے $L = 1$ اور

$$\sqrt[n]{\frac{1}{n^2}} = \frac{1}{n^{\frac{2}{n}}} = \frac{1}{e^{2/n}\ln n} \to \frac{1}{e^0} = 1 \qquad (n \to \infty)$$

ہو گا، چونکہ $\frac{2}{n}\ln n \to 0$ ہے۔

مثال 17.5: تناسبی آزمائش اور جذری آزمائش کا عملی استعمال
درج ذیل تسلسل کو آزما کر دیکھیں۔

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2}{2^n} = \frac{1}{2} + 1 + \frac{9}{8} + 1 + \frac{25}{32} + \cdots$$

اس تسلسل سے

$$w_n = \frac{n^2}{2^n}, \quad w_{n+1} = \frac{(n+1)^2}{2^{n+1}}, \quad \frac{w_{n+1}}{w_n} = \frac{(n+1)^2}{2n^2} \to \frac{1}{2} \quad (n \to \infty)$$

لکھا جا سکتا ہے لہٰذا تناسبی آزمائش کے تحت تسلسل مرتکز ہے۔ ہم جذری آزمائش بھی استعمال کر سکتے ہیں:

$$\sqrt[n]{\frac{n^2}{2^n}} = \frac{n^{\frac{2}{n}}}{2} = \frac{e^{\frac{2}{n}\ln n}}{2} \to \frac{e^0}{2} = \frac{1}{2} \quad (n \to \infty)$$

جو وہی نتیجہ ہے۔ □

مثال 17.6: تناسبی آزمائش کا استعمال
کیا درج ذیل تسلسل مرتکز یا منفرج ہے؟

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(3-i4)^n}{n!} = 1 + (3-i4) + \frac{1}{2!}(3-i4)^2 + \cdots$$

اس تسلسل سے

$$|w_n| = \frac{|3-i4|^n}{n!} = \frac{5^n}{n!}, \quad |w_{n+1}| = \frac{5^{n+1}}{(n+1)!}, \quad \left|\frac{w_{n+1}}{w_n}\right| = \frac{5}{n+1} \to 0 \quad (n \to \infty)$$

لکھا جا سکتا ہے۔یوں تناسبی آزمائش کے تحت تسلسل مرتکز ہے۔ $\square$

مسئلہ 17.16: **جذری آزمائش**
درج ذیل تسلسل پر غور کریں۔

$$w_! + w_2 + w_3 + \cdots$$

فرض کریں کہ $n = 1, 2, \cdots$ کے لئے $w_n \neq 0$ ہیں۔ اگر کسی N سے ہر بڑے n کے لئے

$$\left|\frac{w_{n+1}}{w_n}\right| \leq q \qquad (n > N) \tag{17.21}$$

ہو جہاں q اکائی سے کم کوئی مقررہ عدد ہے، تب تسلسل حتمی منفرج ہو گا۔اگر ہر $n > N$ کے لئے

$$\left|\frac{w_{n+1}}{w_n}\right| \geq 1 \qquad (n > N) \tag{17.22}$$

ہو تب تسلسل منفرج ہو گا۔

ثبوت: مسئلہ 17.14 کے پہلے حصے میں ہر $n > N$ کے لئے ایسے عدد $q < 1$ کی موجودگی جو مساوات 17.21 کو مطمئن کرتا ہو، مرکوزیت کی وجہ بنی۔یوں موجودہ مسئلے میں بھی مرکوزیت کی یہی وجہ ہے۔مساوات 17.22 کے تحت $|w_{n+1}| \geq |w_n|$ ہے لٰہذا مسئلہ 17.5 سے مسئلے کا دوسرا حصہ ثابت ہوتا ہے۔

$\square$

مثال 17.7: **مسئلہ 17.16 کا اطلاق۔مسئلہ 17.14 کی ناکامی**
تسلسل

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} + \frac{1}{512} + \cdots$$

کے طاق اجزاء اور جفت اجزاء دونوں ہندسی تسلسل بناتے ہیں جن کی تناسب $\frac{1}{8}$ ہے۔چونکہ قریبی اجزاء کی تناسب

$$\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \cdots$$

ہے لہٰذا مسئلہ 17.16 کے تحت تسلسل مرتکز ہے۔ہم دیکھتے ہیں کہ ان تناسب کی ترتیب مرتکز نہیں ہے لہٰذا مسئلہ 17.14 یہاں کام نہیں کرے گا۔یوں آپ دیکھ سکتے ہیں کہ مسئلہ 17.14 سے مسئلہ 17.16 زیادہ عمومی ہے۔ □

مسئلہ 17.17: جذری آزمائش
درج ذیل تسلسل پر غور کریں۔

$$w_! + w_2 + w_3 + \cdots$$

اگر کسی عدد N سے ہر بڑے n کے لئے

$$\sqrt[n]{|w_n|} \leq q \tag{17.23}$$

ہو جہاں q اکائی سے کم کوئی مقررہ عدد ہے، تب دیا گیا تسلسل حتمی مرتکز ہو گا۔اگر n کی متناہی تعداد اجزاء کے لئے

$$\sqrt[n]{|w_n|} \geq 1 \tag{17.24}$$

ہو تب تسلسل منفرج ہو گا۔

ثبوت : اگر مساوات 17.23 مطمئن ہو تب کافی بڑے n کے لئے

$$|w_n| \leq q^n < 1 \qquad (n > N)$$

ہو گا اور ہندسی تسلسل کے ساتھ موازنہ کرنے سے تسلسل $|w_N| + |w_{N+1}| + \cdots$ مرتکز حاصل ہوتا ہے۔یوں تسلسل $w_1 + w_2 + \cdots$ حتمی مرتکا ہو گا۔اگر مساوات 17.24 مطمئن ہو تب n کی متناہی تعداد کے لئے $|w_n| \geq 1$ ہو گا لہٰذا مسئلہ 17.5 کے تحت تسلسل منفرج ہو گا۔

□

درج بالا دونوں مسئلوں میں مرکوزیت کے لئے لازمی ہے کہ بالترتیب $\left|\frac{w_{n+1}}{w_n}\right|$ اور $\sqrt[n]{|w_n|}$ کسی مقررہ عدد $q < 1$ کے برابر یا اس سے کم ہو۔ کسی بھی بڑے n کے لئے مرکوزیت ہر گز $\left|\frac{w_{n+1}}{w_n}\right| < 1$ یا $\sqrt[n]{|w_n|} < 1$ سے اخذ نہیں کی جا سکتی ہے۔ مثال کے طور پر ہارمونی تسلسل کے لئے

$$\frac{w_{n+1}}{w_n} = \frac{\frac{1}{n+1}}{\frac{1}{n}} = \frac{n}{n+1} < 1 \quad \text{اور} \quad \sqrt[n]{\frac{1}{n}} < 1$$

ہیں لیکن تسلسل منفرج ہے۔

سوالات

ضمیمہ ا

اضافی ثبوت

صفحہ 139 پر مسئلہ 2.2 بیان کیا گیا جس کا ثبوت یہاں پیش کرتے ہیں۔

ثبوت: یکتائی (مسئلہ 2.2)
تصور کریں کہ کھلے وقفے I پر ابتدائی قیمت مسئلہ

$$y'' + p(x)y' + q(x)y = 0, \quad y(x_0) = K_0, \quad y'(x_0) = K_1 \tag{ا.1}$$

کے دو عدد حل $y_1(x)$ اور $y_2(x)$ پائے جاتے ہیں۔ہم ثابت کرتے ہیں کہ I پر ان کا فرق

$$y(x) = y_1(x) - y_2(x)$$

مکمل صفر کے برابر ہے۔یوں $y_1(x) \equiv y_2(x)$ ہو گا جو یکتائی کا ثبوت ہے۔

چونکہ مساوات ا.1 خطی اور متجانس ہے لہٰذا I پر $y(x)$ بھی اس کا حل ہو گا اور چونکہ y_1 اور y_2 دونوں یکساں ابتدائی معلومات پر پورا اترتے ہیں لہٰذا y درج ذیل ابتدائی معلومات پر پورا اترے گا۔

$$y(x_0) = 0, \quad y'(x_0) = 0 \tag{ا.2}$$

ہم تفاعل

$$z = y^2 + y'^2 \tag{ا.3}$$

اور اس کے تفرق

$$z' = 2yy' + 2y'y'' \tag{ا.4}$$

پر غور کرتے ہیں۔ تفرقی مساوات ا.1 کو

$$y'' = -py' - qy$$

لکھتے ہوئے اس کو z' میں پر کرتے ہیں۔

$$z' = 2yy' + 2y'(-py' - qy) = 2yy' - 2py'^2 - 2qyy' \tag{ا.5}$$

اب چونکہ y اور y' حقیقی تفاعل ہیں لہٰذا ہم

$$(y \mp y')^2 = y^2 \mp 2yy' + y'^2 \geq 0 \tag{ا.6}$$

یعنی

$$\text{(الف)} \quad 2yy' \leq y^2 + y'^2 = z, \qquad \text{(ب)} \quad -2yy' \leq y^2 + y'^2 = z, \tag{ا.7}$$

لکھ سکتے ہیں جہاں مساوات ا.3 کا استعمال کیا گیا ہے۔ مساوات ا.7-ب کو $2yy' \geq -z$ لکھتے ہوئے مساوات ا.7 کے دونوں حصوں کو $|2yy'| \leq z$ لکھا جا سکتا ہے۔ یوں مساوات ا.5 کے آخری جزو کے لئے

$$-2qyy' \leq \left|-2qyy'\right| = |q|\left|2yy'\right| \leq |q|\, z$$

لکھا جا سکتا ہے۔ اس نتیجے کے ساتھ ساتھ $-p \leq |p|$ استعمال کرتے ہوئے اور مساوات ا.7-الف کو مساوات ا.5 کے $2yy'$ جزو میں استعمال کرتے ہوئے

$$z' \leq z + 2|p|\, y'^2 + |q|\, z$$

ملتا ہے۔ اب چونکہ $y'^2 \leq y^2 + y'^2 = z$ ہے لہٰذا اس سے

$$z' \leq (1 + |p| + |q|)z$$

ملتا ہے۔ اس میں $1 + |q| + |p| = h$ لکھتے ہوئے

$$z' \leq hz \qquad I \text{ پر تمام } x \tag{ا.8}$$

حاصل ہوتا ہے۔ اسی طرح مساوات ا.5 اور مساوات ا.7 سے درج ذیل بھی حاصل ہوتا ہے۔

$$\begin{aligned} -z' &= -2yy' + 2py'^2 + 2qyy' \\ &\leq z + 2|p|\, z + |q|\, z = hz \end{aligned} \tag{ا.9}$$

مساوات 1.8 اور مساوات 1.9 کے غیر مساوات درج ذیل غیر مساوات کے مترادف ہیں

$$z' - hz \leq 0, \quad z' + hz \geq 0 \tag{1.10}$$

جن کے بائیں ہاتھ کے جزو تکمل درج ذیل ہیں۔

$$F_1 = e^{-\int h(x)\,\mathrm{d}x}, \qquad F_2 = e^{\int h(x)\,\mathrm{d}x}$$

چونکہ $h(x)$ استمراری ہے لہٰذا اس کا تکمل پایا جاتا ہے۔چونکہ F_1 اور F_2 مثبت ہیں لہٰذا انہیں مساوات 1.10 کے ساتھ ضرب کرنے سے

$$(z' - hz)F_1 = (zF_1)' \leq 0, \quad (z' + hz)F_2 = (zF_2)' \geq 0$$

حاصل ہوتا ہے۔اس کا مطلب ہے کہ I پر zF_1 بڑھ نہیں رہا اور zF_2 گھٹ نہیں رہا۔مساوات 1.2 کے تحت $z(x_0) = 0$ ہے لہٰذا $x \leq x_0$ کی صورت میں

$$zF_1 \geq (zF_1)_{x_0} = 0, \qquad zF_2 \leq (zF_2)_{x_0} \tag{1.11}$$

ہو گا اور اسی طرح $x \geq x_0$ کی صورت میں

$$zF_1 \leq 0, \qquad zF_2 \geq 0 \tag{1.12}$$

ہو گا۔اب انہیں مثبت قیمتوں F_1 اور F_2 سے تقسیم کرتے ہوئے

$$z \leq 0, \qquad z \geq 0 \qquad \text{پر تمام } x \text{ کے لئے } I \tag{1.13}$$

ملتا ہے جس کا مطلب ہے کہ I پر $z = y^2 + y'^2 \equiv 0$ ہے۔یوں I پر $y \equiv 0$ یعنی $y_1 \equiv y_2$ ہے جو درکار ثبوت ہے۔

□

ضمیمہ ب

مفید معلومات

1.ب اعلیٰ تفاعل کے مساوات

قوت نمائی تفاعل e^x (شکل 1.ب-الف)

$$e = 2.718\,281\,828\,459\,045\,235\,360\,287\,471\,353$$

$$e^x e^y = e^{x+y}, \quad \frac{e^x}{e^y} = e^{x-y}, \quad (e^x)^y = e^{xy} \tag{ب.1}$$

قدرتی لوگارتھم (شکل 1.ب-ب)

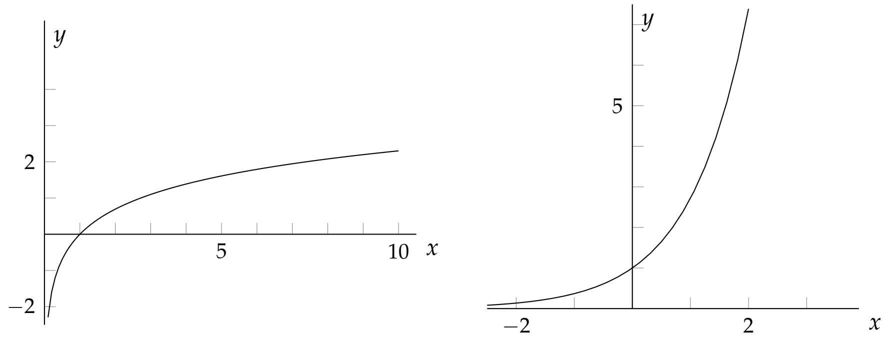
$$\ln(xy) = \ln x + \ln y, \quad \ln\frac{x}{y} = \ln x - \ln y, \quad \ln(x^a) = a\ln x \tag{ب.2}$$

e^x کا الٹ $\ln x$ ہے۔اس کے علاوہ $e^{\ln x} = x$ اور $e^{-\ln x} = e^{\ln\frac{1}{x}} = \frac{1}{x}$ ہیں۔

اساس دس کا لوگارتھم $\log_{10} x$ یا $\log x$

$$\log x = M\ln x, \quad M = \log e = 0.434\,294\,481\,903\,251\,827\,651\,128\,918\,917 \tag{ب.3}$$

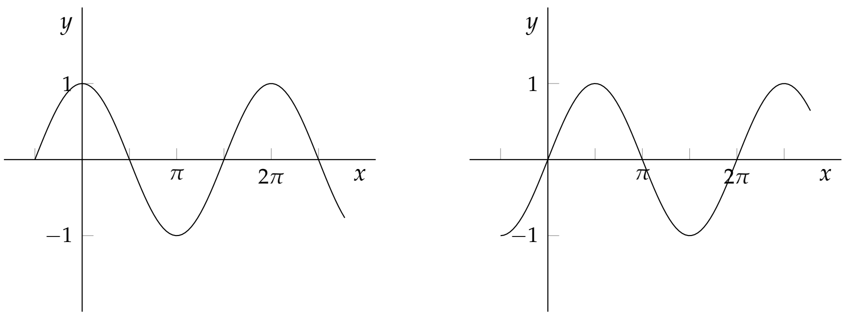
$$\ln x = \frac{1}{M}\log x, \quad \frac{1}{M} = 2.302\,585\,092\,994\,045\,684\,017\,991\,454\,684 \tag{ب.4}$$



(الف) قوت نمائی تفاعل e^x

(ب) قدرتی لوگارتھم $\ln x$

شکل 1.ب: قوت نمائی تفاعل اور قدرتی لوگارتھم تفاعل



(الف) $\sin x$

(ب) $\cos x$

شکل 2.ب: سائن نما تفاعل

10^x کا الٹ $\log x$ ہے۔اس کے علاوہ $10^{\log x}=x$ اور $10^{-\log x}=10^{\log\frac{1}{x}}=\frac{1}{x}$ ہیں۔

سائن اور کوسائن تفاعل (شکل 2.ب-الف اور ب)۔ احصائے تکملات میں زاویہ کو ریڈئیں میں ناپا جاتا ہے۔یوں $\sin x$ اور $\cos x$ کا دوری عرصہ 2π ہو گا۔ $\sin x$ طاق ہے یعنی $\sin(-x)=-\sin x$ ہو گا جبکہ $\cos x$ جفت ہے یعنی $\cos(-x)=\cos x$ ہو گا۔

$$\begin{aligned}1^\circ &= 0.017\,453\,292\,519\,943\,\text{rad}\\ 1\,\text{radian} &= 57^\circ\,17'\,44.80625'' = 57.2957795131^\circ\end{aligned}$$

$$\sin^2 x+\cos^2 x=1 \tag{ب.5}$$

(ب.6)
$$\sin(x+y)=\sin x\cos y+\cos x\sin y\sin(x-y)\quad=\sin x\cos y-\cos x\sin y$$
$$\cos(x+y)=\cos x\cos y-\sin x\sin y$$
$$\cos(x-y)=\cos x\cos y+\sin x\sin y$$

(ب.7)
$$\sin 2x=2\sin x\cos x,\qquad \cos 2x=\cos^2 x-\sin^2 x$$

(ب.8)
$$\sin x=\cos\left(x-\frac{\pi}{2}\right)=\cos\left(\frac{\pi}{2}-x\right)$$
$$\cos x=\sin\left(x+\frac{\pi}{2}\right)=\sin\left(\frac{\pi}{2}-x\right)$$

(ب.9)
$$\sin(\pi-x)=\sin x,\qquad \cos(\pi-x)=-\cos x$$

(ب.10)
$$\cos^2 x=\frac{1}{2}(1+\cos 2x),\qquad \sin^2 x=\frac{1}{2}(1-\cos 2x)$$

(ب.11)
$$\sin x\sin y=\frac{1}{2}[-\cos(x+y)+\cos(x-y)]$$
$$\cos x\cos y=\frac{1}{2}[\cos(x+y)+\cos(x-y)]$$
$$\sin x\cos y=\frac{1}{2}[\sin(x+y)+\sin(x-y)]$$

(ب.12)
$$\sin u+\sin v=2\sin\frac{u+v}{2}\cos\frac{u-v}{2}$$
$$\cos u+\cos v=2\cos\frac{u+v}{2}\cos\frac{u-v}{2}$$
$$\cos v-\cos u=2\sin\frac{u+v}{2}\sin\frac{u-v}{2}$$

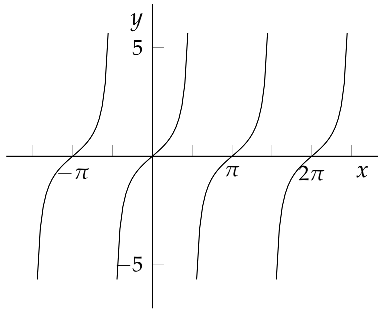
(ب.13)
$$A\cos x+B\sin x=\sqrt{A^2+B^2}\cos(x\mp\delta),\qquad \tan\delta=\frac{\sin\delta}{\cos\delta}=\pm\frac{B}{A}$$

(ب.14)
$$A\cos x+B\sin x=\sqrt{A^2+B^2}\sin(x\mp\delta),\qquad \tan\delta=\frac{\sin\delta}{\cos\delta}=\mp\frac{A}{B}$$

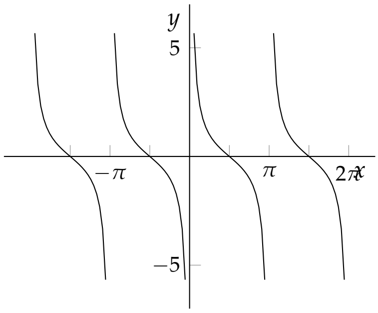
ٹینجنٹ، کوٹینجنٹ، سیکنٹ، کوسیکنٹ (شکل 3.ب-الف، ب)

(ب.15)
$$\tan x=\frac{\sin x}{\cos x},\qquad \cot x=\frac{\cos x}{\sin x},\qquad \sec x=\frac{1}{\cos x},\qquad \csc=\frac{1}{\sin x}$$

(ب.16)
$$\tan(x+y)=\frac{\tan x+\tan y}{1-\tan x\tan y},\qquad \tan(x-y)=\frac{\tan x-\tan y}{1+\tan x\tan y}$$



$\tan x$ (الف)



$\cot x$ (ب)

شکل 3.ب: ٹینجنٹ اور کوٹینجنٹ

ہذلولی تفاعل (ہذلولی سائن $\sin hx$ وغیرہ۔ شکل 4.ب-الف، ب)

$$\begin{gathered}\sinh x = \frac{1}{2}(e^x - e^{-x}), \quad \cosh x = \frac{1}{2}(e^x + e^{-x}) \\ \tanh x = \frac{\sinh x}{\cosh x}, \quad \coth x = \frac{\cosh x}{\sinh x} \\ \cosh x + \sinh x = e^x, \quad \cosh x - \sinh x = e^{-x}\end{gathered} \tag{ب.17}$$

$$\cosh^2 x - \sinh^2 x = 1 \tag{ب.18}$$

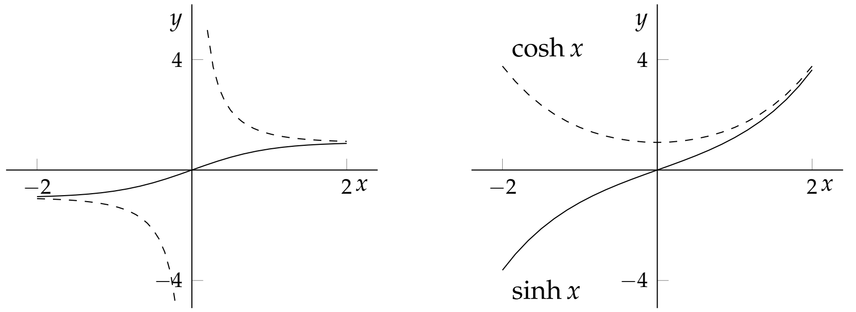
$$\sinh^2 = \frac{1}{2}(\cosh 2x - 1), \quad \cosh^2 x = \frac{1}{2}(\cosh 2x + 1) \tag{ب.19}$$

$$\begin{aligned}\sinh(x \mp y) &= \sinh x \cosh y \mp \cosh x \sinh y \\ \cosh(x \mp y) &= \cosh x \cosh y \mp \sinh x \sinh y\end{aligned} \tag{ب.20}$$

$$\tanh(x \mp y) = \frac{\tanh x \mp \tanh y}{1 \mp \tanh x \tanh y} \tag{ب.21}$$

گیما تفاعل (شکل 5.ب) $\Gamma(\alpha)$ کی تعریف درج ذیل تکمل ہے

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty e^{-t} t^{\alpha-1} \, dt \qquad (\alpha > 0) \tag{ب.22}$$



(الف) ٹھوس خط $\sinh x$ ہے جبکہ نقطہ دار خط $\cosh x$ ہے۔

(ب) ٹھوس خط $\tanh x$ ہے جبکہ نقطہ دار خط $\coth x$ ہے۔

شکل 4.ب: ہذلولی سائن، ہذلولی تفاعل۔

جو صرف مثبت ($\alpha > 0$) کے لئے معنی رکھتا ہے (یا اگر ہم مخلوط α کی بات کریں تب یہ α کی ان قیمتوں کے لئے معنی رکھتا ہے جن کا حقیقی جزو مثبت ہو)۔ تکمل بالحصص سے درج ذیل اہم تعلق حاصل ہوتا ہے۔

$$\Gamma(\alpha+1) = \alpha\Gamma(\alpha) \tag{ب.23}$$

مساوات 22.ب سے $\Gamma(1) = 1$ ملتا ہے۔ یوں مساوات 23.ب استعمال کرتے ہوئے $\Gamma(2) = 1$ حاصل ہو گا جسے دوبارہ مساوات 23.ب میں استعمال کرتے ہوئے $\Gamma(3) = 2 \times 1$ ملتا ہے۔اسی طرح بار بار مساوات 23.ب استعمال کرتے ہوئے α کی کسی بھی عدد صحیح مثبت قیمت k کے لئے درج ذیل حاصل ہوتا ہے۔

$$\Gamma(k+1) = k! \qquad (k = 0, 1, 2, \cdots) \tag{ب.24}$$

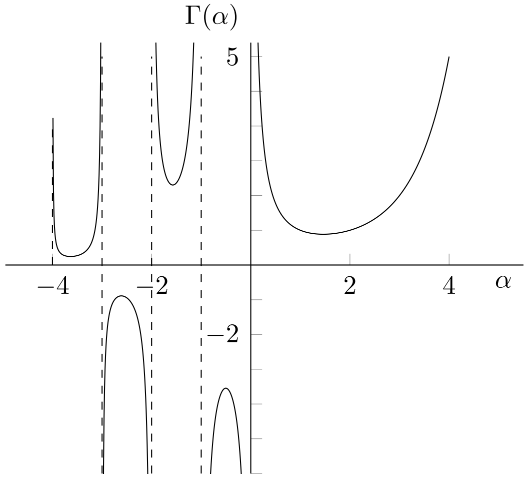
مساوات 23.ب کے بار بار استعمال سے درج ذیل حاصل ہوتا ہے

$$\Gamma(\alpha) = \frac{\Gamma(\alpha+1)}{\alpha} = \frac{\Gamma(\alpha+2)}{\alpha(\alpha+1)} = \cdots = \frac{\Gamma(\alpha+k+1)}{\alpha(\alpha+1)(\alpha+2)\cdots(\alpha+k)}$$

جس کو استعمال کرتے ہوئے ہم α کی منفی قیمتوں کے لئے گیما تفاعل کی درج ذیل تعریف پیش کرتے ہیں

$$\Gamma(\alpha) = \frac{\Gamma(\alpha+k+1)}{\alpha(\alpha+1)(\alpha+2)\cdots(\alpha+k)} \qquad (\alpha \neq 0, -1, -2, \cdots) \tag{ب.25}$$

جہاں k کی ایسی کم سے کم قیمت چنی جاتی ہے کہ $\alpha + k + 1 > 0$ ہو۔مساوات 22.ب اور مساوات 25.ب مل کر α کی تمام مثبت قیمتوں اور غیر عددی صحیحی منفی قیمتوں کے لئے گیما تفاعل دیتے ہیں۔



شکل 5.ب: گیما تفاعل

گیما تفاعل کو حاصل ضرب کی حد بھی فرض کیا جا سکتا ہے یعنی

$$\Gamma(\alpha) = \lim_{n\to\infty} \frac{n!n^{\alpha}}{\alpha(\alpha+1)(\alpha+2)\cdots(\alpha+n)} \qquad (\alpha \neq 0, -1, \cdots) \tag{ب.26}$$

مساوات 25.ب اور مساوات 26.ب سے ظاہر ہے کہ مخلوط α کی صورت میں $\alpha = 0, -1, -2, \cdots$ پر گیما تفاعل کے قطب پائے جاتے ہیں۔

α کی بڑی قیمت کے لئے گیما تفاعل کی قیمت کو درج ذیل کلیہ سٹرلنگ سے حاصل کیا جا سکتا ہے جہاں e قدرتی لوگارتھم کی اساس ہے۔

$$\Gamma(\alpha+1) \approx \sqrt{2\pi\alpha}\left(\frac{\alpha}{e}\right)^{\alpha} \tag{ب.27}$$

آخر میں گیما تفاعل کی ایک اہم اور مخصوص (درج ذیل) قیمت کا ذکر کرتے ہیں۔

$$\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi} \tag{ب.28}$$

نا مکمل گیما تفاعل

$$P(\alpha,x)=\int_0^x e^{-t}t^{\alpha-1}\,\mathrm{d}t,\quad Q(\alpha,x)=\int_x^\infty e^{-t}t^{\alpha-1}\,\mathrm{d}t \qquad (\alpha>0) \tag{ب.29}$$

$$\Gamma(\alpha)=P(\alpha,x)+Q(\alpha,x) \tag{ب.30}$$

بیٹا تفاعل

$$B(x,y)=\int_0^1 t^{x-1}(1-t)^{y-1}\,\mathrm{d}t \qquad (x>0,\, y>0) \tag{ب.31}$$

بیٹا تفاعل کو گیما تفاعل کی صورت میں بھی پیش کیا جا سکتا ہے۔

$$B(x,y)=\frac{\Gamma(x)\Gamma(y)}{\Gamma(x+y)} \tag{ب.32}$$

تفاعل خلل (شکل 6.ب)

$$\operatorname{erf} x=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^x e^{-t^2}\,\mathrm{d}t \tag{ب.33}$$

مساوات 33.ب کے تفرق $\operatorname{erf}' x=\frac{2}{\sqrt{\pi}}e^{-t^2}$ کی مکلارن تسلسل

$$\operatorname{erf}' x=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\left(x-\frac{x^3}{1!3}+\frac{x^5}{2!5}-\frac{x^7}{3!7}+-\cdots\right)$$

کا تکمل لینے سے تفاعل خلل کی تسلسل صورت حاصل ہوتی ہے۔

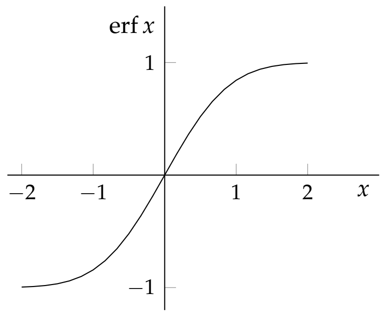
$$\operatorname{erf} x=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\left(x-\frac{x^3}{1!3}+\frac{x^5}{2!5}-\frac{x^7}{3!7}+-\cdots\right) \tag{ب.34}$$

$\operatorname{erf}\infty=1$ ہے۔ **مکملہ تفاعل خلل**

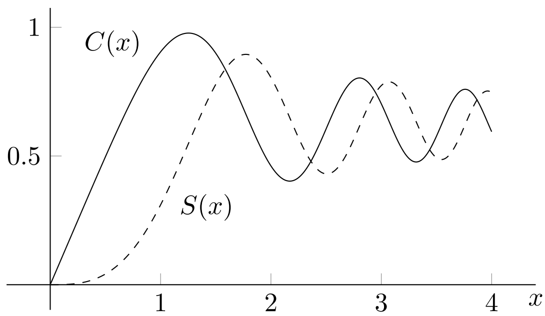
$$\operatorname{erfc} x=1-\operatorname{erf} x=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_x^\infty e^{-t^2}\,\mathrm{d}t \tag{ب.35}$$

فرسنل تکملات (شکل 7.ب)

$$\mathrm{C}(x)=\int_0^x \cos(t^2)\,\mathrm{d}t,\quad \mathrm{S}(x)=\int_0^x \sin(t^2)\,\mathrm{d}t \tag{ب.36}$$



شکل 6.ب: تفاعل خلل۔



شکل 7.ب: فرسنل تکملات

$C(\infty)=\sqrt{\frac{\pi}{8}}$ اور $S(\infty)=\sqrt{\frac{\pi}{8}}$ ہیں۔ **مکملہ تفاعل**[1]

$$c(x)=\frac{\pi}{8}-C(x)=\int_x^\infty \cos(t^2)\,dt \tag{ب.37}$$

$$s(x)=\frac{\pi}{8}-S(x)=\int_x^\infty \sin(t^2)\,dt \tag{ب.38}$$

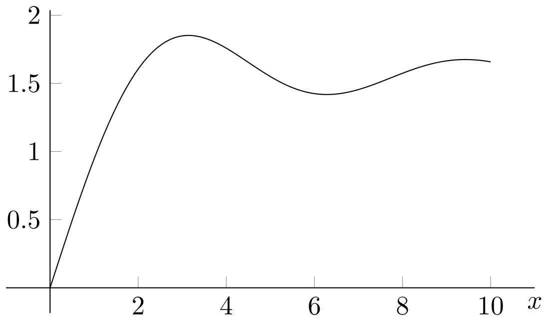
تکمل سائن (شکل 8.ب)

$$\operatorname{Si}(x)=\int_0^x \frac{\sin t}{t}\,dt \tag{ب.39}$$

$\operatorname{Si}\infty=\frac{\pi}{2}$ کے برابر ہے۔ تکملہ تفاعل

$$\operatorname{si}(x)=\frac{\pi}{2}-\operatorname{Si}(x)=\int_x^\infty \frac{\sin t}{t}\,dt \tag{ب.40}$$

[1] complementary functions



شکل 8.ب: تکمل سائن

تکمل کوسائن

$$\operatorname{si}(x) = \int_x^\infty \frac{\cos t}{t}\,\mathrm{d}t \qquad (x>0) \tag{ب.41}$$

تکمل قوت نمائی

$$\operatorname{Ei}(x) = \int_x^\infty \frac{e^{-t}}{t}\,\mathrm{d}t \qquad (x>0) \tag{ب.42}$$

تکمل لوگارتھمی

$$\operatorname{li}(x) = \int_0^x \frac{\mathrm{d}t}{\ln t} \tag{ب.43}$$