انجینئری حساب

خالد خان یوسفزئی
کامسیٹ انسٹیٹیوٹ آف انفارمیشن ٹیکنالوجی، 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 کر سکتے 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 حاصل 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 تکنیکی الفاظ ہی استعمال کئے جائیں۔جہاں ایسے الفاظ موجود نہ تھے وہاں روز مرہ میں استعمال ہونے والے الفاظ چنے گئے۔تکنیکی الفاظ کے چناؤ کے وقت اس بات کا دھیان رکھا گیا ہے 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 گئی 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 الیکٹریکل 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 موجود تمام غلطیاں مجھ سے ہی ہوئی ہیں البتہ اسے درست بنانے 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 10

سمتی تفرقی علم الاحصاء۔ سمتی تفاعل

10.1 غیر سمتی میدان اور سمتی میدان

غیر سمتی تفاعل سے مراد ایسا تفاعل ہے جو فضا میں کسی سلسلہ نقاط کے ہر نقطے پر معین ہو اور جہاں تفاعل کی قیمتیں حقیقی اعداد ہوں جن کا دارومدار صرف فضا میں نقطوں پر ہو نا کہ چنی گئی محوری نظام پر۔ان نقطوں کے سلسلے کو تفاعل کا **دائرہ کار**[1] کہتے ہیں۔ عملی استعمال میں تفاعل f کا دائرہ کار D عموماً منحنی یا سطح یا فضا میں تین بُعدی خطہ ہو گا۔تفاعل f دائرہ کار D کے ہر نقطے کے ساتھ ایک غیر سمتی حقیقی عدد وابستہ کرتا ہے اور ہم کہتے ہیں کہ D میں **غیر سمتی میدان**[2] دیا گیا ہے۔

x ، y ، x متعارف کرنے سے تفاعل f کو ان محدد کی مدد سے $f(x,y,z)$ لکھا جا سکتا ہے، پس اتنا یاد رہے کہ کسی بھی نقطہ P پر تفاعل f کی قیمت، چنی گئی محددی نظام پر ہر گز منحصر نہیں ہو گی۔اس حقیقت کو ظاہر کرنے کی خاطر $f(x,y,z)$ کی جگہ عموماً $f(P)$ لکھا جاتا ہے۔تفاعل f وقت پر بھی منحصر ہو سکتا ہے۔

---

domain[1]
scalar field[2]

مثال 10.1: غیر سمتی تفاعل
غیر تغیر پذیر نقطہ P_0 سے کسی نقطہ P کا فضا میں فاصلہ غیر سمتی تفاعل ہے جس کا دائرہ کار D پوری فضا ہے۔ $f(P)$ فضا میں غیر سمتی میدان دیتا ہے۔ اگر کارتیسی نظام محدد میں P_0 کے محدد x_0 ، y_0 ، z_0 اور P کے محدد x ، y ، z ہوں تب f درج ذیل ہو گا۔

$$f(P) = f(x, y, z) = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}$$

نظام محدد تبدیل کرنے سے عموماً P_0 اور P کے محدد تبدیل ہوں گے لیکن $f(P)$ کی قیمت تبدیل نہیں ہو گی لہٰذا $f(P)$ غیر سمتی تفاعل ہے۔

مثال 10.2: غیر سمتی میدان
کسی جسم کے اندر درجہ حرارت T غیر سمتی تفاعل ہے جو غیر سمتی میدان (یعنی جسم میں درجہ حرارت) تعین کرتا ہے۔

اگر فضا میں سلسلہ نقاط کے ہر نقطے P کے ساتھ سمتیہ $\boldsymbol{v}(P)$ وابستہ کیا جائے تب ہم کہتے ہیں کہ ان نقاط پر **سمتی میدان**[3] دیا گیا ہے اور $\boldsymbol{v}(P)$ **سمتی تفاعل**[4] کہلاتا ہے۔ یہ سلسلہ نقاط کسی منحنی یا سطح یا حجم میں پایا جا سکتا ہے۔

کارتیسی نظام محدد میں درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$\boldsymbol{v}(x, y, z) = v_1(x, y, z)\boldsymbol{i} + v_2(x, y, z)\boldsymbol{j} + v_3(x, y, z)\boldsymbol{k}$$

یاد رہے کہ کسی بھی نقطے پر $\boldsymbol{v}$ کی قیمت اس نقطے پر منحصر ہے نا کہ نظام محدد پر۔

---

[3] vector field
[4] vector function

مثال 10.3: سمتی میدان (سمتی میدان رفتار)
گھومتے ہوئے جسم B کی سمتی رفتار $\boldsymbol{v}(P)$ کو سمتی میدان رفتار کہتے ہیں۔ گھومتے جسم کی محور پر کارتیسی محدد کا مبدا رکھتے ہوئے جسم پر کسی نقطہ N کی سمتی رفتار کو درج ذیل لکھا جا سکتا ہے (صفحہ 544 پر مثال 7.13 دیکھیں)

$$\boldsymbol{v}(x,y,z) = \boldsymbol{\omega} \times (x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}) \tag{10.1}$$

جہاں لمحہ غور پر نقطہ N کے محدد x ، y ، z ہیں۔ اگر کارتیسی z محور عین جسم کی محور پر واقع ہو اور $\boldsymbol{\omega}$ مثبت z محور کے رخ ہو تب $\boldsymbol{\omega} = \omega\boldsymbol{k}$ لکھا جائے گا۔ یوں درج ذیل ملتا ہے۔

$$\boldsymbol{v} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{i} & \boldsymbol{j} & \boldsymbol{k} \\ 0 & 0 & \omega \\ x & y & z \end{bmatrix} = \omega(-y\boldsymbol{i} + x\boldsymbol{j}) \tag{10.2}$$

مثال 10.4: سمتی میدان (میدان قوت)
فرض کریں کہ کمیت M مستقل طور پر فضا میں نقطہ N_0 پر موجود ہے جبکہ کمیت m فضا میں کسی بھی نقطہ N پر موجود ہو سکتا ہے۔ اب نیوٹن قانون تجاذب کے تحت m پر قوت کشش

$$|\boldsymbol{f}| = \frac{}{r^2} \tag{10.3}$$

عمل کرے گی جہاں $G = 6.67 \times 10^{-11}\,\mathrm{m^3/kgs^2}$ تجاذبی مستقل ہے اور r ان جسموں کے مابین فاصلہ ہے۔ یہاں $\boldsymbol{v}$ فضا میں سمتی میدان دیتا ہے۔ اگر ہم کارتیسی محدد کو یوں چنیں کہ N_0 کے محدد x_0 ، y_0 ، z_0 ہوں اور N کے محدد x ، y ، z ہوں تب مسئلہ فیثاغورث کے تحت

$$r = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2} \qquad (r \geq 0)$$

ہو گا۔ اب $r > 0$ فرض کرتے ہوئے سمتیہ

$$\boldsymbol{r} = (x-x_0)\boldsymbol{i} + (y-y_0)\boldsymbol{j} + (z-z_0)\boldsymbol{k} \tag{10.4}$$

متعارف کرتے ہوئے $r = |\boldsymbol{r}|$ لکھا جا سکتا ہے۔یوں $\boldsymbol{f}$ کی سمت میں اکائی سمتیہ $-\frac{\boldsymbol{r}}{r}$ ہو گا جہاں منفی کی علامت اس حقیقت کو ظاہر کرتی ہے کہ قوت کشش N_0 سے N کی رخ کو ہے۔یوں درج ذیل لکھ جا سکتا ہے۔

$$\boldsymbol{f} = |\boldsymbol{f}|\left(-\frac{\boldsymbol{r}}{r}\right) = -GMm\frac{\boldsymbol{r}}{r^3} = -GMm\left[\frac{x-x_0}{r^3}\boldsymbol{i} + \frac{y-y_0}{r^3}\boldsymbol{j} + \frac{z-z_0}{r^3}\boldsymbol{k}\right] \tag{10.5}$$

یہ سمتی تفاعل m پر قوت کشش دیتا ہے۔

سمتی علم الاحصاء

علم الاحصاء کے بنیادی تصورات مثلاً ارتکاز، استمراریت اور تفرق پذیری کو بالکل فطری طور پر سمتی علم الاحصاء کے لئے بھی بیان کیا جا سکتا ہے۔آئیں ایسا ہی کرتے ہیں۔

سمتیات $\boldsymbol{a}_{(n)}$ ، جہاں $n = 1, 2, \cdots$ ہے، کا لامتناہی تسلسل اس صورت مرکوز تصور کیا جاتا ہے جب ایسا سمتیہ $\boldsymbol{a}$ موجود ہو کہ درج ذیل درست ہو۔

$$\lim_{n\to\infty}\left|\boldsymbol{a}_{(n)} - \boldsymbol{a}\right| = 0 \tag{10.6}$$

$\boldsymbol{a}$ کو اس تسلسل کا **تحدیدی سمتیہ**[5] کہتے ہیں جسے درج ذیل لکھا جاتا ہے۔

$$\lim_{n\to\infty}\boldsymbol{a}_{(n)} = \boldsymbol{a} \tag{10.7}$$

کارتیسی نظام محدد استعمال کرتے ہوئے ظاہر ہے کہ سمتیات کا تسلسل اس صورت سمتیہ $\boldsymbol{a}$ پر مرتکز ہو گا جب تسلسل کے تین کارتیسی ارکان کا تسلسل بالترتیب $\boldsymbol{a}$ کے تین کارتیسی ارکان پر مرتکز ہوں۔

اسی طرح اگر حقیقی متغیر t پر مبنی سمتی تفاعل $\boldsymbol{u}(t)$ نقطہ t_0 کے ہمسائیگی[6] میں معین ہو (جبکہ t_0 پر یہ غیر معین ہو سکتا ہے) تب t کا t_0 کے قریب تر ہونے سے تفاعل کی حد[7] $\boldsymbol{l}$ سے مراد درج ذیل ہے

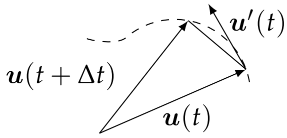
$$\lim_{t\to t_0}\left|\boldsymbol{u}(t) - \boldsymbol{l}\right| = 0 \tag{10.8}$$

---

[5] limit vector

[6] ہمسائیگی سے مراد t محور پر ایسا وقفہ ہے جس کے اندر t_0 پایا جاتا ہو۔

[7] limit



شکل 10.1: سمتی تفاعل کا تفرق

جس کو ہم درج ذیل لکھتے ہیں۔

$$\lim_{t\to t_0} \boldsymbol{u}(t) = \boldsymbol{l} \tag{10.9}$$

سمتی تفاعل $\boldsymbol{u}(t)$ اس صورت $t = t_0$ پر **استمراری** تصور کیا جاتا ہے جب یہ t_0 کے ہمسائیگی میں معین ہو اور درج ذیل پر پورا اترتا ہو۔

$$\lim_{t\to t_0} \boldsymbol{u}(t) = \boldsymbol{u}(t_0) \tag{10.10}$$

کارتیسی نظام محدد میں تفاعل $\boldsymbol{u}(t)$ درج لکھا جائے گا

$$\boldsymbol{u}(t) = u_1(t)\boldsymbol{i} + u_2(t)\boldsymbol{j} + u_3(t)\boldsymbol{k} \tag{10.11}$$

اور t_0 پر $\boldsymbol{u}(t)$ اس صورت استمراری ہو گا جب اس کے تینوں کارتیسی اجزاء t_0 پر استمراری ہوں۔

تفاعل $\boldsymbol{u}(t)$ نقطہ t پر اس صورت **قابل تفرق** ہو گا جب درج ذیل حد موجود ہو۔

$$\boldsymbol{u}'(t) = \lim_{\Delta t\to 0} \frac{\boldsymbol{u}(t+\Delta t) - \boldsymbol{u}(t)}{\Delta t} \tag{10.12}$$

$\boldsymbol{u}'(t)$ کو $\boldsymbol{u}(t)$ کا **تفرق**[8] کہتے ہیں (شکل 10.1)۔اس شکل میں نقطہ دار لکیر سمتیہ $\boldsymbol{u}(t)$ کی نوک کو آزاد متغیرہ t کے لئے وقفہ t تا $t+\Delta t$ ظاہر کرتی ہے۔

کارتیسی نظام محدد استعمال کرتے ہوئے نقطہ t پر $\boldsymbol{u}(t)$ اس صورت قابل تفرق ہو گا جب اس نقطے پر درج ذیل تینوں تفرق موجود ہوں۔

$$u'_m(t) = \lim_{\Delta t\to 0} \frac{u_m(t+\Delta t) - u_m(t)}{\Delta t} \qquad (m = 1, 2, 3)$$

[8] derivative

یوں سمتیہ تفاعل کا تفرق لینا اس کے تینوں ارکان کا علیحدہ علیحدہ تفرق لینے کے مترادف ہے یعنی:

$$\boldsymbol{u}'(t) = u_1'(t)\boldsymbol{i} + u_2'(t)\boldsymbol{j} + u_3'(t)\boldsymbol{k} \tag{10.13}$$

تفرق کے جانی پہچانی اصولوں کے مطابقت اصول سمتیہ تفاعل کے تفرق کے لئے بھی حاصل کیے جا سکتے ہیں مثلاً

$$(c\boldsymbol{u})' = c\boldsymbol{u}' \; (c \text{ مستقل ہے}), \qquad (\boldsymbol{u}+\boldsymbol{v})' = \boldsymbol{u}' + \boldsymbol{v}' \tag{10.14}$$

اور

$$(\boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{v})' = \boldsymbol{u}'\cdot\boldsymbol{v} + \boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{v}' \tag{10.15}$$

$$(\boldsymbol{u}\times\boldsymbol{v})' = \boldsymbol{u}\times\boldsymbol{v} + \boldsymbol{u}\times\boldsymbol{v}' \tag{10.16}$$

$$\left(\frac{\boldsymbol{u}}{\boldsymbol{v}}\right)' = \frac{\boldsymbol{v}\boldsymbol{u} - \boldsymbol{u}\boldsymbol{v}'}{\boldsymbol{v}^2} \tag{10.17}$$

$$(\boldsymbol{u}\boldsymbol{v}\boldsymbol{w})' = (\boldsymbol{u}'\boldsymbol{v}\boldsymbol{w}) + (\boldsymbol{u}\boldsymbol{v}'\boldsymbol{w}) + (\boldsymbol{u}\boldsymbol{v}\boldsymbol{w}') \tag{10.18}$$

چونکہ سمتی ضرب غیر قابل تبادل ہے لہٰذا مساوات 10.16 میں سمتیات کی ترتیب برقرار رکھنا لازم ہے۔

مثال 10.5: مستقل لمبائی کے تفاعل کا تفرق
اگر تفاعل $\boldsymbol{u}(t)$ کی لمبائی مستقل ہو یعنی $\left|\boldsymbol{u}(t)\right| = c$ تب $|\boldsymbol{u}|^2 = \boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{u} = c^2$ ہو گا اور مساوات 10.15 کی مدد سے $(\boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{u})' = 2\boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{u}' = 0$ حاصل ہو گا جس کے تحت مستقل لمبائی کے سمتی تفاعل کا تفرق یا صفر سمتیہ ہو گا اور یا یہ $\boldsymbol{u}(t)$ کے قائمہ الزاویہ ہو گا۔

درج بالا گفتگو سے سمتی تفاعل کی جزوی تفرق کے اصول حاصل کرتے ہیں۔اگر کسی سمتی تفاعل $\boldsymbol{u}$

$$\boldsymbol{u} = u_1\boldsymbol{i} + u_2\boldsymbol{j} + u_3\boldsymbol{k}$$

کے اجزاء n عدد متغیرات t_1 ، $\cdots$ ، t_n کے ساتھ قابل تفرق ہوں تب t_1 کے ساتھ $\boldsymbol{u}$ کے جزوی تفرق کو $\frac{\partial \boldsymbol{u}}{\partial t_1}$ سے ظاہر کیا جائے گا جو درج ذیل ہو گا۔

$$\frac{\partial \boldsymbol{u}}{\partial t_1} = \frac{\partial u_1}{\partial t_1}\boldsymbol{i} + \frac{\partial u_2}{\partial t_1}\boldsymbol{j} + \frac{\partial u_3}{\partial t_1}\boldsymbol{k}$$

اسی طرح دیگر جزوی تفرقات لکھے جا سکتے ہیں مثلاً:

$$\frac{\partial^2 \boldsymbol{u}}{\partial t_m \partial t_n} = \frac{\partial^2 \boldsymbol{u}_1}{\partial t_m \partial t_n}\boldsymbol{i} + \frac{\partial^2 \boldsymbol{u}_2}{\partial t_m \partial t_n}\boldsymbol{j} + \frac{\partial^2 \boldsymbol{u}_3}{\partial t_m \partial t_n}\boldsymbol{k}$$

مثال 10.6: جزوی تفرق

سمتی تفاعل $\boldsymbol{r}(t_1, t_2) = a\cos\omega t_1\boldsymbol{i} + a\sin\omega t_1\boldsymbol{j} + t_2\boldsymbol{k}$ کے جزوی تفرق درج ذیل ہیں۔

$$\frac{\partial \boldsymbol{r}}{\partial t_1} = a\omega(-\sin\omega t_1\boldsymbol{i} + \cos\omega t_1\boldsymbol{j}), \qquad \frac{\partial \boldsymbol{r}}{\partial t_2} = \boldsymbol{k}$$

تفاعل $\boldsymbol{r}$ ایسی نلکی سطح کو ظاہر کرتا ہے جس کا رداس a ہے اور محور z محور ہے۔

سوالات

سوال 10.1 تا سوال 10.5 میں برابر سطح $f = c$ کیا ہو گا جہاں c مستقل ہے۔

سوال 10.1: $f = x + y + z$
جواب: متوازی سطحیں

سوال 10.2: $f = x^2 + y^2 + z^2$
جواب: ہم مرکز کرہ

سوال 10.3: $f = x^2 + y^2$
جواب: کارتیسی z کے ہم محوری نلکی سطحیں

سوال 10.4: $f = 4x^2 + 5y^2$
جواب: کارتیسی z کے ہم محوری نلکی ترخیم سطحیں

سوال 10.5: $f = x^2 + y^2 - z$
جواب: قطع مکافی نما سطحیں

سوال 10.6 تا سوال 10.9 میں دیا گیا ہے۔ وہ سطح دریافت کریں جس پر v کی لمبائی مستقل ہو۔ وہ سطح دریافت کریں جس پر v کی یکساں سمت ہو۔ xy سطح پر سمتیہ v

سوال 10.6: $v = 2x\boldsymbol{i} + 3y\boldsymbol{j}$
جوابات: $4x^2 + 9y^2 =$ مستقل، $\frac{y}{x} =$ مستقل

سوال 10.7: $v = x^2\boldsymbol{i} + \sqrt{y}\boldsymbol{j}$
جوابات: $x^4 + y =$ مستقل، $\frac{\sqrt{y}}{x^2} =$ مستقل

سوال 10.8: $v = (x^2 - y^2)\boldsymbol{i} + 2xy\boldsymbol{j}$
جوابات: $x^2 + y^2 =$ مستقل، $\frac{2xy}{x^2-y^2} =$ مستقل

سوال 10.9: $v = (x+y)\boldsymbol{i} + (x-y)\boldsymbol{j}$
جوابات: $x^2 + y^2 =$ مستقل، $\frac{x-y}{x+y} =$ مستقل

سوال 10.10 تا سوال 10.18 میں $\boldsymbol{u}$ دیا گیا ہے۔ آپ سے التماس ہے کہ $\boldsymbol{u}'$ اور $\boldsymbol{u}''$ دریافت کریں۔

سوال 10.10: $\boldsymbol{a} + \boldsymbol{b}t^2$
جوابات: $\boldsymbol{u}' = 2\boldsymbol{b}t,\ \boldsymbol{u}'' = 2\boldsymbol{b}$

سوال 10.11: $t\boldsymbol{i} + (t^2+2)\boldsymbol{j}$
جوابات: $\boldsymbol{u}' = \boldsymbol{i} + 2t\boldsymbol{j},\ \boldsymbol{u}'' = 2\boldsymbol{j}$

سوال 10.12: $4\cos t\,\boldsymbol{i} + 2\sin t\,\boldsymbol{j}$
جوابات: $\boldsymbol{u}' = -4\sin t\,\boldsymbol{i} + 2\cos t\,\boldsymbol{j},\ \boldsymbol{u}'' = -4\cos t\,\boldsymbol{i} - 2\sin t\,\boldsymbol{j} = -\boldsymbol{u}$

سوال 10.13: $4\cos t\,\boldsymbol{i} + 2\sin t\,\boldsymbol{j} - 3t\,\boldsymbol{k}$
جوابات: $\boldsymbol{u}' = -4\sin t\,\boldsymbol{i} + 2\cos t\,\boldsymbol{j} - 3\,\boldsymbol{k},\ \boldsymbol{u}'' = -4\cos t\,\boldsymbol{i} - 2\sin t\,\boldsymbol{j}$

سوال 10.14: $t^2\boldsymbol{i} + 2\boldsymbol{j} + 4t\boldsymbol{k}$
جوابات: $\boldsymbol{u}' = 2t\boldsymbol{i} + 4\boldsymbol{k},\ \boldsymbol{u}'' = 2\boldsymbol{i}$

سوال 10.15: $\cos 2t\,\boldsymbol{i} - 3\sin 2t\,\boldsymbol{j} + t^2\,\boldsymbol{k}$
جوابات: $\boldsymbol{u}' = -2\sin 2t\,\boldsymbol{i} - 6\cos 2t\,\boldsymbol{j} + 2t\,\boldsymbol{k},\ \boldsymbol{u}'' = -4\cos 2t\,\boldsymbol{i} + 12\sin 2t\,\boldsymbol{j} + 2\,\boldsymbol{k}$

سوال 10.16: $e^t\,\boldsymbol{i} - 2e^{-3t}\,\boldsymbol{j}$
جوابات: $\boldsymbol{u}' = e^t\,\boldsymbol{i} + 6e^{-3t}\,\boldsymbol{j},\ \boldsymbol{u}'' = e^t\,\boldsymbol{i} - 18e^{-3t}\,\boldsymbol{j}$

سوال 10.17: $e^{-t}(\cos t\,\boldsymbol{i} - \sin t\,\boldsymbol{j})$
جوابات: $\boldsymbol{u}' = e^{-t}[-(\cos t + \sin t)\,\boldsymbol{i} - (\cos t - \sin t)\,\boldsymbol{j}],\ \boldsymbol{u}'' = e^{-t}(2\sin t\,\boldsymbol{i} + 2\cos t\,\boldsymbol{j})$

سوال 10.18: $t^2(2\boldsymbol{i} - 5\boldsymbol{j})$
جوابات: $\boldsymbol{u}' = 2t(2\boldsymbol{i} - 5\boldsymbol{j}),\ \boldsymbol{u}'' = 2(2\boldsymbol{i} - 5\boldsymbol{j})$

سوال 10.19 تا سوال 10.23 میں $\boldsymbol{u} = t\boldsymbol{i} + t^3\boldsymbol{k}$ ، $\boldsymbol{v} = t^2\boldsymbol{j} + t\boldsymbol{k}$ اور $\boldsymbol{w} = 2\boldsymbol{i} + t\boldsymbol{j} - t^2\boldsymbol{k}$ لیتے ہوئے حل کریں۔

سوال 10.19: $(\boldsymbol{u} \cdot \boldsymbol{v})'$
جواب: $4t^3$

سوال 10.20: $(\boldsymbol{u} \times \boldsymbol{v})'$
جواب: $-t^4\boldsymbol{i} - 2t\boldsymbol{j} + 3t^2\boldsymbol{k}$

سوال 10.21: $[\boldsymbol{u} \times (\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{w})]'$
جواب: $-8t^3\boldsymbol{i} - (7t^6 + 5t^4 - 6t^2)\boldsymbol{j} + 4t\boldsymbol{k}$

سوال 10.22: $[(\boldsymbol{u} \times \boldsymbol{v}) \times \boldsymbol{w}]'$
جواب: $(6t^2 - 7t^6)\boldsymbol{j} + (4t - 6t^5)\boldsymbol{k}$

سوال 10.23: $[(\boldsymbol{u} \times \boldsymbol{v}) \cdot \boldsymbol{w}]'$
جواب: $-15t^4 - 3t^2$

سوال 10.24 تا سوال 10.29 میں دیے گئے سمتی تفاعل $\boldsymbol{u}$ کا x ، y اور z کے ساتھ جزوی تفرق دریافت کریں۔

سوال 10.24: $x\boldsymbol{i} + 3y\boldsymbol{k}$
جوابات: $\boldsymbol{i},\ 3\boldsymbol{k},\ 0$

سوال 10.25: $(x^2 - y^2)\boldsymbol{i} + 2xy\boldsymbol{j}$
جوابات: $2x\boldsymbol{i} + 2y\boldsymbol{j},\ -2y\boldsymbol{i} + 2x\boldsymbol{j},\ 0$

سوال 10.26: $x^2\boldsymbol{i}-3y^2\boldsymbol{j}+2z^2\boldsymbol{k}$
جوابات: $2x\boldsymbol{i},\ -6y\boldsymbol{j},\ 4z\boldsymbol{k}$

سوال 10.27: $xy\boldsymbol{i}+yz\boldsymbol{j}+zx\boldsymbol{k}$
جوابات: $y\boldsymbol{i}+z\boldsymbol{k},\ x\boldsymbol{i}+z\boldsymbol{j},\ y\boldsymbol{j}+x\boldsymbol{k}$

سوال 10.28: $(x+y)\boldsymbol{i}+(y+z)\boldsymbol{j}+(z+x)\boldsymbol{k}$
جوابات: $\boldsymbol{i}+\boldsymbol{k},\ \boldsymbol{i}+\boldsymbol{j},\ \boldsymbol{j}+\boldsymbol{k}$

سوال 10.29: $x^2y\boldsymbol{i}+y^2z\boldsymbol{j}+z^2x\boldsymbol{k}$
جوابات: $2xy\boldsymbol{i}+z^2\boldsymbol{k},\ x^2\boldsymbol{i}+2yz\boldsymbol{j},\ y^2\boldsymbol{j}+2xz\boldsymbol{k}$

سوال 10.30: $(\boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{v})''$ اور $(\boldsymbol{u}\times\boldsymbol{v})''$ کے لئے مساوات 10.15 اور مساوات 10.16 کی طرز کے کلیات دریافت کریں۔

جوابات: $(\boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{v})''=\boldsymbol{u}''\cdot\boldsymbol{v}+2\boldsymbol{u}'\cdot\boldsymbol{v}'+\boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{v}''$,
$(\boldsymbol{u}\times\boldsymbol{v})''=\boldsymbol{u}''\times\boldsymbol{v}+2\boldsymbol{u}'\times\boldsymbol{v}'+\boldsymbol{u}\times\boldsymbol{v}''$

سوال 10.31: ثابت کریں کہ $\left(\frac{\boldsymbol{u}}{|\boldsymbol{u}|}\right)'=\frac{\boldsymbol{u}'(\boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{u})-\boldsymbol{u}(\boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{u}')}{(\boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{u})^{\frac{3}{2}}}$
جواب: $\left(\frac{\boldsymbol{u}}{|\boldsymbol{u}|}\right)'=\left(\frac{\boldsymbol{u}}{\sqrt{\boldsymbol{u}\cdot\boldsymbol{u}}}\right)'$ لکھتے ہوئے مساوات 10.17 کا استعمال کریں۔

10.2 منحنی

کارتیسی نظام میں منحنی C کو درج ذیل سمتی تفاعل سے ظاہر کیا جا سکتا ہے (شکل 10.2-الف)۔

$$\boldsymbol{r}(t)=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j}+z(t)\boldsymbol{k} \tag{10.19}$$

آزاد حقیقی متغیرہ t کی ہر قیمت t_0 کا C پر مطابقتی نقطہ پایا جاتا ہے جس کے محدد $x(t_0)$ ، $y(t_0)$ اور $z(t_0)$ تعین گر سمتیہ $\boldsymbol{r}(t_0)$ دیتا ہے۔ مساوات 10.19 کو C کی منحنی مقدار معلوم[9] کہتے ہیں جبکہ t کو مقدار معلوم کہتے ہیں۔ منحنی مقدار معلوم کی طرز پر منحنی کا اظہار نہایت عمدہ ثابت ہوتا ہے۔

[9] parametric representation

(ب) سیدھی لکیر کا مقدار معلوم خط

(الف) منحنی مقدار معلوم

شکل 10.2: سیدھی لکیر اور منحنی کے مقدار معلوم خطوط۔

فضا میں منحنی ظاہر کرنے کے دیگر طریقے

$$y = f(x), \quad z = g(x) \tag{10.20}$$

اور

$$F(x, y, z) = 0, \quad G(x, y, z) = 0 \tag{10.21}$$

ہیں۔مساوات 10.20 میں $x = t$ پر کرتے ہوئے اس کو مساوات 10.19 کی طرح لکھ سکتے ہیں یعنی:

$$\boldsymbol{r}(t) = t\boldsymbol{i} + f(t)\boldsymbol{j} + g(t)\boldsymbol{k}$$

مساوات 10.21 میں دو سطحوں کے مساوات دیے گئے ہیں جن کا ملاپ منحنی دیتا ہے۔

مستوی منحنی[10] سے مراد ایسی منحنی ہے جو فضا میں کسی سطح مستوی پر پائی جاتی ہو۔غیر مستوی منحنی کو **خم دار منحنی**[11] کہتے ہیں۔

مثال 10.7: سیدھا خط

کسی بھی سیدھی لکیر L کو درج ذیل لکھا جا سکتا ہے جہاں $\boldsymbol{a}$ اور $\boldsymbol{b}$ مستقل سمتیات ہیں (شکل 10.2-ب)۔

$$\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{a} + t\boldsymbol{b} = (a_1 + tb_1)\boldsymbol{i} + (a_2 + tb_2)\boldsymbol{j} + (a_3 + tb_3)\boldsymbol{k} \tag{10.22}$$

---

[10] plane curve
[11] twisted curve

L نقطہ A سے گزرتی ہے جس کا تعین گر سمتیہ $\boldsymbol{a}$ ہے جبکہ $\boldsymbol{b}$ کے رخ L ہو گا۔اگر $\boldsymbol{b}$ اکائی سمتیہ ہو تب اس کے ارکان کوسائن رخ[12] ہوں گے اور L پر کسی بھی نقطے کا A سے فاصلہ $|t|$ ہو گا۔

مثال 10.8: ترخیم، دائرہ

درج ذیل سمتی تفاعل xy سطح میں ترخیم کو ظاہر کرتا ہے جس کا مرکز کارتیسی نظام کے مبدا اور صدر محور x اور y محور پر ہیں۔

$$\boldsymbol{r}(t) = a\cos t\boldsymbol{i} + b\sin t\boldsymbol{j} \tag{10.23}$$

$x = a\cos t$ اور $y = b\sin t$ لیتے ہوئے $\cos^2 t + \sin^2 t = 1$ کے استعمال سے

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad z = 0 \tag{10.24}$$

ملتا ہے جو ترخیم کی مساوات ہے۔اگر $a = b$ ہو تب مساوات 10.23 رداس a کی دائرے کی مساوات ہو گی۔

سوال 10.32: مبدا سے ہٹ کر دائرہ

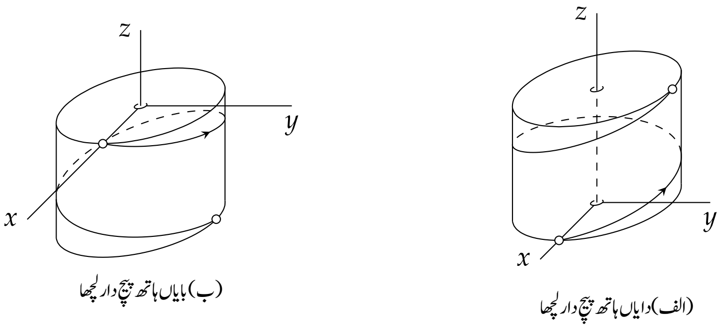
xy سطح میں رداس r کا ایسا دائرہ جس کا مرکز نقطہ (x_0, y_0) پر ہو کی مساوات درج ذیل ہے۔

$$\frac{(x-x_0)^2}{r^2} + \frac{(y-y_0)^2}{r^2} = 1$$

$\frac{x-x_0}{r} = \cos t$ اور $\frac{y-y_0}{r} = \sin t$ لیتے ہوئے $x = x_0 + r\cos t$ اور $y = y_0 + r\sin t$ لکھا جا سکتا ہے لہٰذا اس دائرے کی مقدار معلوم مساوات درج ذیل ہو گی۔

$$\boldsymbol{r}(t) = (x_0 + r\cos t)\boldsymbol{i} + (y_0 + r\sin t)\boldsymbol{j} \tag{10.25}$$

[12] direction cosines



شکل 10.3: پیچ دار لچھے (مثال 10.33)۔

سوال 10.33: پیچ دار لچھا
پیچ دار لچھے[13] کو

$$\boldsymbol{r}(t) = a\cos t\boldsymbol{i} + a\sin t\boldsymbol{j} + ct\boldsymbol{k} \qquad (c \neq 0) \tag{10.26}$$

ظاہر کرتا ہے۔اس **خم دار منحنی** کو $c > 0$ (دایاں ہاتھ پیچ دار لچھا) اور $c < 0$ (بایاں ہاتھ پیچ دار لچھا) کے لئے شکل 10.3 میں دکھایا گیا ہے۔

منحنی کے کچھ حصے کو عموماً **قوس**[14] کہتے ہیں۔اس کتاب میں ہم عموماً قوس کو بھی منحنی کہیں گے۔

ہم قطع منحنی اپنی آپ کو قطع کرتی ہے۔ نقطہ قطع کو منحنی کا **متعدد نقطہ**[15] کہتے ہیں (شکل 10.4)۔ ایسی منحنی جس کے متعدد نقطے نہ پائے جاتے ہوں **سادہ منحنی**[16] کہلاتی ہے۔

---

[13] circular helix
[14] arc
[15] multiple point
[16] simple curve

شکل 10.4: دوہرا نقطوں والے منحنی

مثال 10.9: سادہ اور غیر سادہ منحنی
ترخیم اور پیچ دار لچھے سادہ ترخیم کی مثالیں ہیں۔درج ذیل $t = 1$ اور $t = -1$ پر مبدا سے دو مرتبہ گزرتی ہے لہٰذا یہ غیر سادہ منحنی کی مثال ہے۔

$$\boldsymbol{r}(t) = (t^2 - 1)\boldsymbol{i} + (t^3 - 1)\boldsymbol{j}$$

آخر میں بتاتا چلوں کہ کسی بھی منحنی C کو کئی سمتی تفاعل سے ظاہر کیا جا سکتا ہے مثلاً اگر C کو مساوات 10.19 ظاہر کرے تب ہم $t = h(t^*)$ لیتے ہوئے، جہاں مساوات 10.19 میں استعمال t کی تمام قیمتوں کے لئے $h(t^*)$ بھی پائے جاتے ہوں، C کو نئی سمتی تفاعل $\tilde{\boldsymbol{r}}(t^*) = \boldsymbol{r}[h(t^*)]$ سے ظاہر کر سکتے ہیں۔

مثال 10.10: مقدار معلوم کی تبدیلی
xy سطح میں قطع مکافی $y = x^2$ کو درج ذیل سمتیہ تفاعل ظاہر کرتی ہے۔

$$\boldsymbol{r} = t\boldsymbol{i} + t^2\boldsymbol{j} \qquad (-\infty < t < \infty) \tag{10.27}$$

ہم $t = -2t^*$ لیتے ہوئے اس قطع مکافی کو درج ذیل سمتی تفاعل سے ظاہر کر سکتے ہیں۔

$$\tilde{\boldsymbol{r}}(t^*) = \boldsymbol{r}(-2t^*) = -2t^*\boldsymbol{i} + 4t^{*2}\boldsymbol{j}$$

اگر ہم $t = t^{*2}$ لیں تب ہمیں درج ذیل نیا سمتی تفاعل ملتا ہے

$$\tilde{\boldsymbol{r}}(t^*) = t^{*2}\boldsymbol{i} + t^{*4}\boldsymbol{j}$$

لیکن $t^{*2} > 0$ کی بنا یہ تفاعل قطع مکافی کو صرف ربع اول میں ظاہر کرتا ہے۔

سوالات

سوال 10.34 تا سوال 10.37 میں نقطہ A سے گزرتی ہوئی سمتیہ $\boldsymbol{b}$ کے رخ سیدھی لکیر کی مقدار معلوم مساوات دریافت کریں۔

سوال 10.34: $A:(0,0,0), \quad \boldsymbol{b}=\boldsymbol{i}-\boldsymbol{j}$
جواب: $\boldsymbol{r}=t\boldsymbol{i}-t\boldsymbol{j}$

سوال 10.35: $A:(2,-3,1), \quad \boldsymbol{b}=\boldsymbol{i}+2\boldsymbol{j}$
جواب: $\boldsymbol{r}=(t+2)\boldsymbol{i}+(2t-3)\boldsymbol{j}+\boldsymbol{k}$

سوال 10.36: $A:(2,0,-3), \quad \boldsymbol{b}=-\boldsymbol{j}+3\boldsymbol{k}$
جواب: $\boldsymbol{r}=2\boldsymbol{i}-t\boldsymbol{j}+3(t-1)\boldsymbol{k}$

سوال 10.37: $A:(-3,2,6), \quad \boldsymbol{b}=5\boldsymbol{i}+3\boldsymbol{j}-7\boldsymbol{k}$
جواب: $\boldsymbol{r}=(5t-3)\boldsymbol{i}+(3t+2)\boldsymbol{j}+(6-7t)\boldsymbol{k}$

سوال 10.38 تا سوال 10.41 میں نقطہ A اور نقطہ B سے گزرتی ہوئی سیدھی لکیر کی مقدار معلوم مساوات دریافت کریں۔

سوال 10.38: $A:(0,0,0), \quad B:(1,1,1)$
جواب: $\boldsymbol{r}=t\boldsymbol{i}+t\boldsymbol{j}+t\boldsymbol{k}$

سوال 10.39: $A:(-3,7,-5), \quad B:(2,0,3)$
جواب: $\boldsymbol{r}=(5t-3)\boldsymbol{i}+7(1-t)\boldsymbol{j}+(8t-5)\boldsymbol{k}$

سوال 10.40: $A:(1,2,-3), \quad B:(7,2,-3)$
جواب: $\boldsymbol{r}=(6t+1)\boldsymbol{i}+2\boldsymbol{j}-3\boldsymbol{k}$

سوال 10.41: $A:(3,2,0), \quad B:(0,0,0)$
جواب: $\boldsymbol{r}=3(1-t)\boldsymbol{i}+2(1-t)\boldsymbol{j}$ جس میں $t^*=1-t$ چنتے ہوئے $\tilde{\boldsymbol{r}}=3t^*\boldsymbol{i}+2t^*\boldsymbol{j}$ بھی لکھا جا سکتا ہے۔

سوال 10.42 تا سوال 10.46 میں دیے سیدھی لکیر کی مقدار معلوم مساوات دریافت کریں۔

سوال 10.42: $y = x, \quad z = 0$
جواب: $\boldsymbol{r} = t\boldsymbol{i} + t\boldsymbol{j}$

سوال 10.43: $y = -3x, \quad z = 2x$
جواب: $\boldsymbol{r} = t\boldsymbol{i} - 3t\boldsymbol{j} + 2t\boldsymbol{k}$

سوال 10.44: $2y = 5x, \quad z = x - 3y$
جواب: $\boldsymbol{r} = t\boldsymbol{i} + \frac{5}{2}\boldsymbol{j} - \frac{13}{2}\boldsymbol{k}$ یا $\boldsymbol{r} = 2t\boldsymbol{i} + 5t\boldsymbol{j} - 13t\boldsymbol{k}$ جہاں t^* کی جگہ t ہی لکھا گیا ہے۔

سوال 10.45: $4x - y + z = 3, \quad -3x + 2y + 3z = 19$
جواب: y اور z حاصل کرتے ہوئے $\boldsymbol{r} = t\boldsymbol{i} + (3t+2)\boldsymbol{j} + (5-t)\boldsymbol{k}$

سوال 10.46: $x - y = 2, \quad 2x + z = 3$
جواب: $\boldsymbol{r} = t\boldsymbol{i} + (t-2)\boldsymbol{j} + (3-2t)\boldsymbol{k}$

سوال 10.47 تا سوال 10.55 میں دیے خطوط کی مقدار معلوم مساوات دریافت کریں۔

سوال 10.47: $x^2 + y^2 = 1, \quad z = 0$
جواب: $\boldsymbol{r} = \cos t\boldsymbol{i} + \sin t\boldsymbol{j}$

سوال 10.48: $y = x^3, \quad z = 0$
جواب: $\boldsymbol{r} = t\boldsymbol{i} + t^3\boldsymbol{j}$

سوال 10.49: $y = 2x^3, \quad z = -3x^2$
جواب: $\boldsymbol{r} = t\boldsymbol{i} + 2t^3\boldsymbol{j} - 3t^2\boldsymbol{k}$

سوال 10.50: $x^2 + y^2 - 4x + 6y = -9, \quad z = 0$
جواب: نقطہ $(2, -3)$ پر رداس 2 کا دائرہ $\boldsymbol{r} = (2 + 2\cos t)\boldsymbol{i} + (-3 + 2\sin t)\boldsymbol{j}$

سوال 10.51: $4(x+1)^2 + y^2 = 4, \quad z = 0$
جواب: $\boldsymbol{r} = (-1 + 2\cos t)\boldsymbol{i} + 2\sin t\boldsymbol{j}$

سوال 10.52: $x = -5y^2, \quad z = 2y^3$
جواب: $\boldsymbol{r} = -5t^2\boldsymbol{i} + t\boldsymbol{j} + 2t^3\boldsymbol{k}$

سوال 10.53: $y = \sqrt{x}, \quad z = y - 2,$
جواب: $\boldsymbol{r} = t^2\boldsymbol{i} + t\boldsymbol{j} + (t-2)\boldsymbol{k}$

سوال 10.54: xy سطح میں درج ذیل ترخیم کی مقدار معلوم مساوات لکھیں۔

$$\frac{(x-x_0)^2}{a^2} + \frac{(y-y_0)^2}{b^2} = 1$$

جواب: $\boldsymbol{r} = (x_0 + a\cos t)\boldsymbol{i} + (y_0 + b\sin t)\boldsymbol{j}$

سوال 10.55: $x^2 + y^2 = 4, \quad z = e^{-x}$
جواب: $\boldsymbol{r} = 2\cos t\boldsymbol{i} + 2\sin t\boldsymbol{j} + e^{-t}\boldsymbol{k}$

سوال 10.56: پیچ دار لچھے (مساوات 10.26) کا xy ، xz اور yz سطحوں پر عمودی سایہ کیا ہو گا؟

جوابات: xy میں دائرہ، xz میں کوسائن موج اور yz میں سائن موج

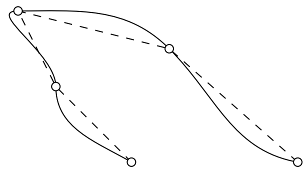
10.3 لمبائی قوس

سادہ منحنی C کی لمبائی کی تعریف پیش کرتے ہیں۔ہم C (شکل 10.5-الف) کے دونوں سروں کے مابین متواتر (اختیاری) نقطوں کو n عدد (نقطہ دار) خط مستقیم سے یوں جوڑتے ہیں کہ $n \to \infty$ کی صورت میں لمبی ترین خط مستقیم کی لمبائی صفر کے قریب تر ہو گی۔تمام خط مستقیم کی لمبائیوں (جنہیں مسئلہ فیثاغورث سے حاصل کیا جا سکتا ہے) کا مجموعہ لیتے ہیں۔اگر n کی بتدریج بڑھتی تعداد n_1 ، n_2 ، ... لیتے ہوئے مطابقتی خط مستقیم کی لمبائیوں کے مجموعے کی ترتیب l_1 ، l_2 ، ... مرکوز ہو جس کی حد l ہو تب ہم کہتے ہیں کہ C **قابل تصحیح**[17] ہے اور l کو C کی لمبائی[18] کہتے ہیں۔

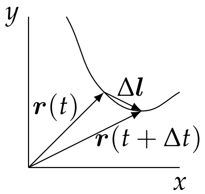
اگر C از خود سادہ منحنی نہ ہو لیکن یہ محدود تعداد کے قابل تصحیح سادہ منحنیات پر مشتمل ہو تب C کی لمبائی سے مراد ان تمام منحنیات کی لمبائیوں کا مجموعہ ہو گا۔

---

[17] rectifiable
[18] length



(الف) لمبائی کی تعریف۔



(ب) استمراری قابل تفرق تفاعل کی لمبائی۔

شکل 10.5: لمبائی قوس

اگر C کو استمراری[19] قابل تفرق سمتی تفاعل

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) \qquad (a \le t \le b) \tag{10.28}$$

سے ظاہر کرنا ممکن ہو تب $\Delta \boldsymbol{l} = \boldsymbol{r}(t) - \boldsymbol{r}(t+\Delta t) = \Delta \boldsymbol{r}$ ہو گا (شکل 10.5-ب) جس کو Δt سے تقسیم کرتے ہوئے $\frac{\Delta \boldsymbol{l}}{\Delta t} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$ لکھا جا سکتا ہے۔ یوں $\Delta t \to 0$ کی صورت میں درج ہو گا۔

$$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{l}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = \dot{\boldsymbol{r}} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$$

کسی بھی سمتیہ کی طرح $\dot{\boldsymbol{r}}$ کی لمبائی $\sqrt{\dot{\boldsymbol{r}} \cdot \dot{\boldsymbol{r}}}$ ہو گی جس کو $\mathrm{d}t$ سے ضرب دیتے ہوئے تکمل لینے سے منحنی کی کل لمبائی حاصل ہو گی۔

$$l = \int_a^b \sqrt{\dot{\boldsymbol{r}} \cdot \dot{\boldsymbol{r}}}\, \mathrm{d}t \qquad (\dot{\boldsymbol{r}} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}) \tag{10.29}$$

مساوات 10.29 سے حاصل لمبائی منحنی پر محددی نظام کا کوئی اثر نہیں ہو گا۔

اگر ہم تکمل کی بالائی حد کو مستقل b کی جگہ متغیر t رکھیں تب حاصل تکمل از خود t کا تابع تفاعل ہو گا مثلاً $s(t)$۔ یوں تکمل کے متغیرہ کو t^* لکھتے ہوئے درج ذیل ہو گا۔

$$s(t) = \int_a^t \sqrt{\dot{\boldsymbol{r}} \cdot \dot{\boldsymbol{r}}}\, \mathrm{d}t^* \qquad (\dot{\boldsymbol{r}} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^*}) \tag{10.30}$$

تفاعل $s(t)$ کو C **کا لمبائی قوس تفاعل یا** C **کی لمبائی قوس**[20] کہتے ہیں۔

---

[19] استمراری قابل تفرق کا مطلب ہے کہ اس کا تفرق موجود ہے اور یہ تفرق استمراری ہے۔ اسی طرح دوہرا استمراری قابل تفرق کا مطلب ہے کہ اس کا دوہرا تفرق موجود ہے اور یہ دوہرا تفرق استمراری ہے، وغیرہ وغیرہ

[20] arc length

اب تک کے بحث سے ظاہر ہے کہ جیومیٹریائی طور پر کسی مستقل $t = t_0 \geq a$ کے لئے $s(t_0)$ نقطہ $t = a$ اور نقطہ $t = t_0$ کے درمیان حصے کی لمبائی دیتا ہے۔یوں $t = t_0 < a$ کی صورت میں $s(t_0) < 0$ ہو گا لہٰذا لمبائی $-s(t_0)$ ہو گی۔

منحنی کی مقدار معلوم مساوات میں s بطور مقدار معلوم کردار ادا کر سکتا ہے اور جیسا ہم دیکھیں گے اس سے کئی کلیات سادہ صورت اختیار کرتے ہیں۔

مساوات 10.30 میں ابتدائی نقطہ a کی جگہ کوئی دوسرا مستقل لیا جا سکتا ہے یعنی نقطہ $s = 0$ کو ہم خود مختاری کے ساتھ چن سکتے ہیں۔بڑھتے s طرف کو C کی **مثبت طرف**[21] کہتے ہیں۔یوں منحنی کی **سمت بندی**[22] کرنا ممکن ہوتا ہے۔ ظاہر ہے کہ کسی بھی C کی سمت بندی دو طریقوں سے کی جا سکتی ہے۔مقدار معلوم کا اس طرح تبادلہ کہ اس کا تفرق منفی حاصل ہو سے ایک سمت بندی سے دوسری سمت بندی حاصل ہو گی۔

مساوات 10.30 سے درج ذیل لکھا جا سکتا ہے۔

$$\left(\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}\right)^2 = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\cdot\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = \left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\right)^2 \tag{10.31}$$

روایتی طور پر عموماً

$$\mathrm{d}\boldsymbol{r} = \mathrm{d}x\boldsymbol{i} + \mathrm{d}y\boldsymbol{j} + \mathrm{d}z\boldsymbol{k}$$

اور

$$\mathrm{d}s^2 = \mathrm{d}\boldsymbol{r}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r} = \mathrm{d}x^2 + \mathrm{d}y^2 + \mathrm{d}z^2 \tag{10.32}$$

لکھا جاتا ہے جہاں $\mathrm{d}s$ کو C کا **خطی جزو**[23] کہتے ہیں۔

مثال 10.11: لمبائی قوس بطور مقدار معلوم

دائرے کی صورت میں

$$\boldsymbol{r}(t) = a\cos t\boldsymbol{i} + a\sin t\boldsymbol{j}, \quad \dot{\boldsymbol{r}} = -a\sin t\boldsymbol{i} + a\cos t\boldsymbol{j}, \quad \dot{\boldsymbol{r}}\cdot\dot{\boldsymbol{r}} = a^2$$

---

[21] positive sense
[22] orientation
[23] linear element

ہو گا لہٰذا لمبائی قوس درج ذیل حاصل ہو گی۔

$$s(t) = \int_0^t a \, \mathrm{d}t^* = at$$

یوں t کو s کا تفاعل $t(s) = \frac{s}{a}$ لکھتے ہوئے دائرے کی ایسی مساوات لکھتے ہیں جس میں s بطور مقدار معلوم ہے۔

$$\boldsymbol{r}\left(\frac{s}{a}\right) = a\cos\frac{s}{a}\boldsymbol{i} + a\sin\frac{s}{a}\boldsymbol{j}$$

اس دائرے کی سمت بندی گھڑی کی الٹ رخ ہے۔یوں گھڑی کے الٹ چلتے ہوئے s بڑھے گا۔ہم $s = -\tilde{s}$ پر کرتے ہوئے دائرے کی سمت بندی گھڑی کے رخ رکھ سکتے ہیں۔یوں

$$\cos(-\alpha) = \cos\alpha \qquad \text{اور} \qquad \sin(\alpha) = -\sin\alpha$$

استعمال کرتے ہوئے درج ذیل لکھا جائے گا۔

$$\boldsymbol{r}\left(-\frac{\tilde{s}}{a}\right) = a\cos\frac{\tilde{s}}{a}\boldsymbol{i} - a\sin\frac{\tilde{s}}{a}\boldsymbol{j}$$

چونکہ $\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}\tilde{s}} = -1 < 0$ ہے لہٰذا درج بالا میں گھڑی کے رخ چلتے ہوئے بڑھتا $\tilde{s}$ حاصل ہو گا۔

سوالات

حوالہ

[1] Coddington, E. A. and N. Levinson, Theory of Ordinary Differential Equations. Malabar, FL: Krieger, 1984.

[2] Ince, E. L., Ordinary Differential Equations. New York: Dover, 1956.

[3] Watson, G. N., A Treatise on the Theory of Bessel Functions. 2nd ed. Cambridge: University Press, 1944.

ضمیمہ ا

اضافی ثبوت

صفحہ 143 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 1.ا 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 3.ا کا استعمال کیا گیا ہے۔ مساوات 7.ا-ب کو $2yy' \geq -z$ لکھتے ہوئے مساوات 7.ا کے دونوں حصوں کو $\lvert 2yy' \rvert \leq z$ لکھا جا سکتا ہے۔ یوں مساوات 5.ا کے آخری جزو کے لئے

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

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

$$z' \leq z + 2\lvert p \rvert y'^2 + \lvert q \rvert z$$

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

$$z' \leq (1 + \lvert p \rvert + \lvert q \rvert) z$$

ملتا ہے۔ اس میں $1 + \lvert q \rvert + \lvert p \rvert = h$ لکھتے ہوئے

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

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

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

مساوات ا.8 اور مساوات ا.9 کے غیر مساوات درج ذیل غیر مساوات کے مترادف ہیں

$$z' - hz \leq 0, \quad z' + hz \geq 0 \tag{ا.10}$$

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 لٰہذا اس کا تکمل پایا جاتا ہے۔چونکہ F_1 اور F_2 مثبت ہیں لٰہذا انہیں مساوات ا.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 ا.2 کے تحت $z(x_0) = 0$ ہے لٰہذا $x \leq x_0$ کی صورت میں

$$zF_1 \geq (zF_1)_{x_0} = 0, \qquad zF_2 \leq (zF_2)_{x_0} \tag{ا.11}$$

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

$$zF_1 \leq 0, \qquad zF_2 \geq 0 \tag{ا.12}$$

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

$$z \leq 0, \qquad z \geq 0 \qquad \text{پر تمام } x \text{ کے لئے } I \tag{ا.13}$$

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

ب.1 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)

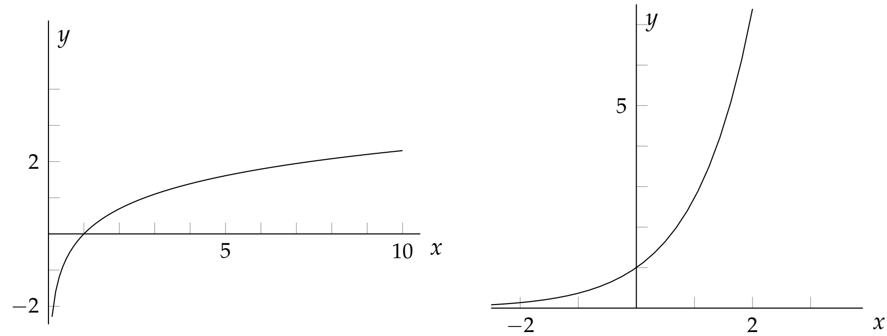
$$\ln(xy) = \ln x + \ln y, \quad \ln\frac{x}{y} = \ln x - \ln y, \quad \ln(x^a) = a\ln x \tag{ب.2}$$

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 $\log x$

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

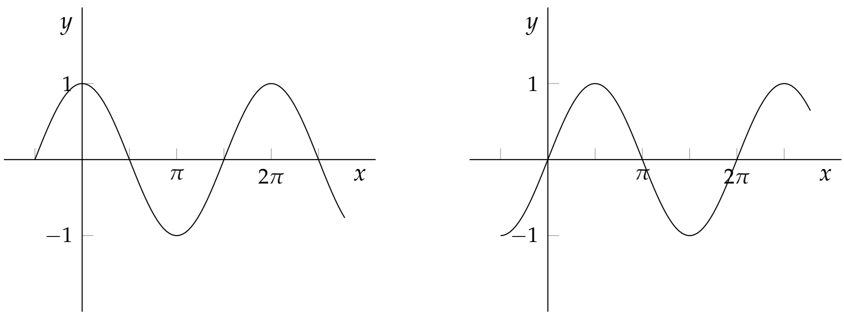
$$\ln x = \frac{1}{M}\log x, \quad \frac{1}{M} = 2.302\,585\,092\,994\,045\,684\,017\,991\,454\,684 \tag{ب.4}$$



(ب)قدرتی لوگارتھم $\ln x$

(الف)قوت نمائی تفاعل e^x

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



$\cos x$ (ب)

$\sin x$ (الف)

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 ریڈیئن 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۔

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

$$\sin^2 x + \cos^2 x = 1 \tag{ب.5}$$

$$\begin{aligned} \sin(x-y) &= \sin x \cos y - \cos x \sin y \\ \cos(x+y) &= \cos x \cos y - \sin x \sin y \\ \cos(x-y) &= \cos x \cos y + \sin x \sin y \end{aligned} \tag{ب.6}$$

$$\sin 2x = 2 \sin x \cos x, \quad \cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x \tag{ب.7}$$

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

$$\sin(\pi - x) = \sin x, \quad \cos(\pi - x) = -\cos x \tag{ب.9}$$

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

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

$$\begin{aligned} \sin u + \sin v &= 2 \sin \frac{u+v}{2} \cos \frac{u-v}{2} \\ \cos u + \cos v &= 2 \cos \frac{u+v}{2} \cos \frac{u-v}{2} \\ \cos v - \cos u &= 2 \sin \frac{u+v}{2} \sin \frac{u-v}{2} \end{aligned} \tag{ب.12}$$

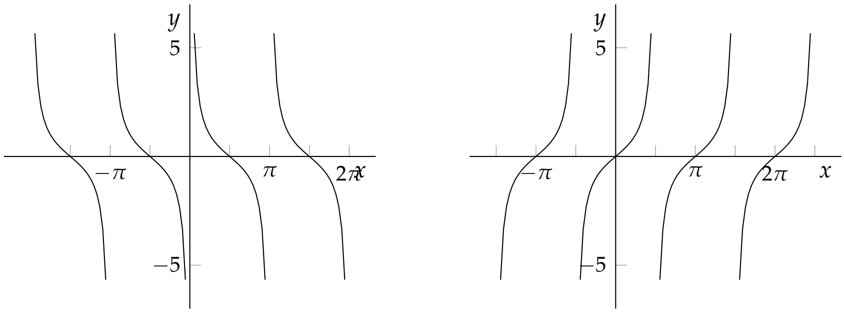
$$A \cos x + B \sin x = \sqrt{A^2 + B^2} \cos(x \mp \delta), \quad \tan \delta = \frac{\sin \delta}{\cos \delta} = \pm \frac{B}{A} \tag{ب.13}$$

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

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

$$\tan x = \frac{\sin x}{\cos x}, \quad \cot x = \frac{\cos x}{\sin x}, \quad \sec x = \frac{1}{\cos x}, \quad \csc = \frac{1}{\sin x} \tag{ب.15}$$

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



$\cot x$ (ب) $\tan x$ (الف)

شکل 3.ب: ٹینجنٹ اور کوٹینجنٹ

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

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

$$\tanh x = \frac{\sinh x}{\cosh x}, \quad \coth x = \frac{\cosh x}{\sinh x} \tag{ب.18}$$

$$\cosh x + \sinh x = e^x, \quad \cosh x - \sinh x = e^{-x} \tag{ب.19}$$

$$\cosh^2 x - \sinh^2 x = 1 \tag{ب.20}$$

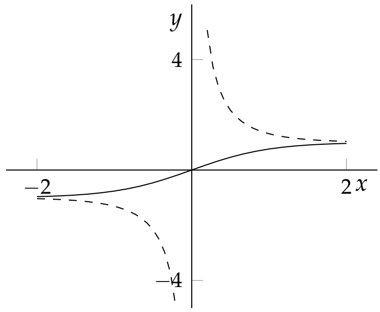
$$\sinh^2 = \frac{1}{2}(\cosh 2x - 1), \quad \cosh^2 x = \frac{1}{2}(\cosh 2x + 1) \tag{ب.21}$$

$$\begin{aligned} \sinh(x \mp y) &= \sinh x \cosh y \mp \cosh x \sinh y \\ \cosh(x \mp y) &= \cosh x \cosh y \mp \sinh x \sinh y \end{aligned} \tag{ب.22}$$

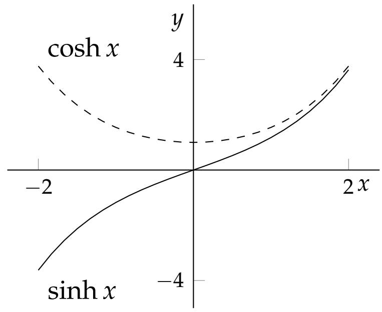
$$\tanh(x \mp y) = \frac{\tanh x \mp \tanh y}{1 \mp \tanh x \tanh y} \tag{ب.23}$$

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

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty e^{-t} t^{\alpha-1}\, \mathrm{d}t \qquad (\alpha > 0) \tag{ب.24}$$



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



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

$$\Gamma(\alpha+1) = \alpha\Gamma(\alpha) \tag{ب.25}$$

مساوات 24.ب سے $\Gamma(1) = 1$ ملتا ہے۔ یوں مساوات 25.ب استعمال کرتے ہوئے $\Gamma(2) = 1$ حاصل ہو گا جسے دوبارہ مساوات 25.ب میں استعمال کرتے ہوئے $\Gamma(3) = 2 \times 1$ ملتا ہے۔اسی طرح بار بار مساوات 25.ب استعمال کرتے ہوئے α کی کسی بھی عدد صحیح مثبت قیمت k کے لئے درج ذیل حاصل ہوتا ہے۔

$$\Gamma(k+1) = k! \qquad (k = 0, 1, 2, \cdots) \tag{ب.26}$$

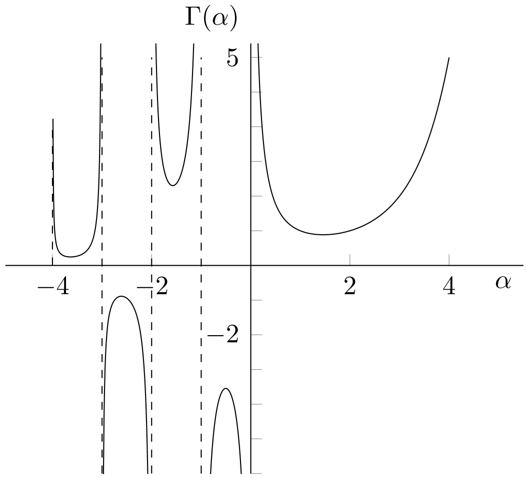
مساوات 25.ب کے بار بار استعمال سے درج ذیل حاصل ہوتا ہے

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

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

$$\Gamma(\alpha) = \frac{\Gamma(\alpha+k+1)}{\alpha(\alpha+1)(\alpha+2)\cdots(\alpha+k)} \qquad (\alpha \neq 0, -1, -2, \cdots) \tag{ب.27}$$

جہاں k کی ایسی کم سے کم قیمت چنی جاتی ہے کہ $\alpha + k + 1 > 0$ ہو۔ مساوات 24.ب اور مساوات 27.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

$$\Gamma(\alpha)=\lim_{n\to\infty}\frac{n!n^{\alpha}}{\alpha(\alpha+1)(\alpha+2)\cdots(\alpha+n)}\qquad(\alpha\neq 0,-1,\cdots) \tag{ب.28}$$

مساوات 27.ب اور مساوات 28.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۔

$$\Gamma(\alpha+1)\approx\sqrt{2\pi\alpha}\left(\frac{\alpha}{e}\right)^{\alpha} \tag{ب.29}$$

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

$$\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)=\sqrt{\pi} \tag{ب.30}$$

نا مکمل گیما تفاعل

$$P(\alpha,x)=\int_0^x e^{-t}t^{\alpha-1}\,\mathrm{d}t,\quad Q(\alpha,x)=\int_x^\infty e^{-t}t^{\alpha-1}\,\mathrm{d}t\qquad(\alpha>0)\tag{ب.31}$$

$$\Gamma(\alpha)=P(\alpha,x)+Q(\alpha,x)\tag{ب.32}$$

بیٹا تفاعل

$$B(x,y)=\int_0^1 t^{x-1}(1-t)^{y-1}\,\mathrm{d}t\qquad(x>0,\,y>0)\tag{ب.33}$$

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

$$B(x,y)=\frac{\Gamma(x)\Gamma(y)}{\Gamma(x+y)}\tag{ب.34}$$

تفاعل خلل(شکل 6.ب)

$$\operatorname{erf}x=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^x e^{-t^2}\,\mathrm{d}t\tag{ب.35}$$

مساوات 35.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۔

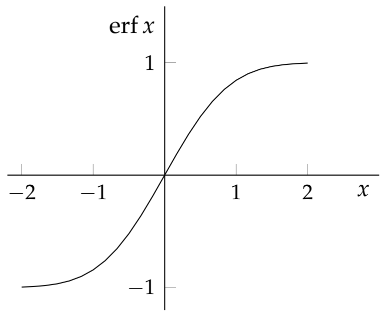
$$\operatorname{erf}x=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\left(x-\frac{x^3}{1!3}+\frac{x^5}{2!5}-\frac{x^7}{3!7}+-\cdots\right)\tag{ب.36}$$

$erf\infty=1$ ہے۔ **مکملہ تفاعل خلل**

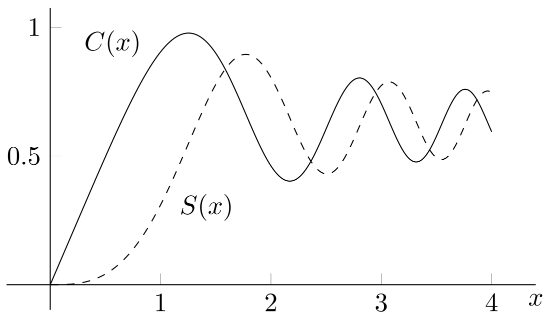
$$\operatorname{erfc}x=1-\operatorname{erf}x=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_x^\infty e^{-t^2}\,\mathrm{d}t\tag{ب.37}$$

فرسنل تکملات (شکل 7.ب)

$$\mathrm{C}(x)=\int_0^x\cos(t^2)\,\mathrm{d}t,\quad \mathrm{S}(x)=\int_0^x\sin(t^2)\,\mathrm{d}t\tag{ب.38}$$



شکل 6.ب: تفاعل خلل۔



شکل 7.ب: فرنسل تکملات

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

$$c(x) = \frac{\pi}{8} - C(x) = \int_x^\infty \cos(t^2)\,dt \tag{ب.39}$$

$$s(x) = \frac{\pi}{8} - S(x) = \int_x^\infty \sin(t^2)\,dt \tag{ب.40}$$

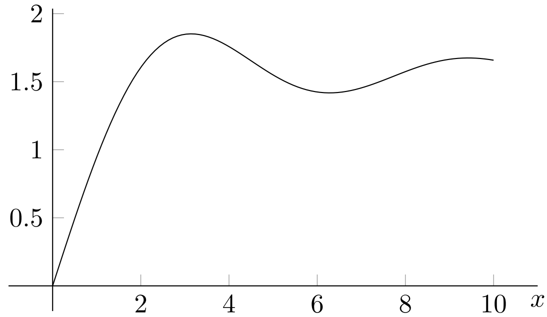
تکمل سائن (شکل 8.ب)

$$\operatorname{Si}(x) = \int_0^x \frac{\sin t}{t}\,dt \tag{ب.41}$$

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

$$\operatorname{si}(x) = \frac{\pi}{2} - \operatorname{Si}(x) = \int_x^\infty \frac{\sin t}{t}\,dt \tag{ب.42}$$

[1] complementary functions



شکل 8.ب: تکمل سائن

تکمل کوسائن

$$\operatorname{si}(x) = \int_x^\infty \frac{\cos t}{t}\,\mathrm{d}t \qquad (x > 0) \tag{43.ب}$$

تکمل قوت نمائی

$$\operatorname{Ei}(x) = \int_x^\infty \frac{e^{-t}}{t}\,\mathrm{d}t \qquad (x > 0) \tag{44.ب}$$

تکمل لوگارھمی

$$\operatorname{li}(x) = \int_0^x \frac{\mathrm{d}t}{\ln t} \tag{45.ب}$$