

Anteckningar TMV206 - Linjär Algebra

Krysset

February 3, 2022

Contents

1	Geometrisk vektorer	2
1.0.1	Räkneregler	3
1.1	Linjärbaser	4
1.2	Skalarprodukten	4
1.3	Vektorprodukten	7
2	Koordinatsystem (Avs. 1.5)	8
2.1	Koordinatsystem i ett plan	8
2.2	Koordinatsystem i ett rum	9
3	Linjer och plan (Avsnitt 1.6)	11
3.0.1	Linjer	11
3.1	Linjer i planet	12
4	Plan i rummet	13
4.1	Avstånd från en punkt till en linje	14
4.2	Avstånd från en punkt till ett plan	14
5	Matrisoperationer	15
5.1	Produkter av matriser	16
6	Determinanter (Avs. 2.2)	18

Chapter 1

Geometrisk vektor

När man säger vektor menar man ofta en matris på formeln av en kolonnvektor,

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ -3 \end{pmatrix} \text{ eller en radvektor, } (1 \quad 2 \quad -3).$$

Så kommer det även vara för oss. Men vi börjar med att diskutera geometriska vektorer.

Definition: En geometrisk vektor är ett objekt som har både storlek och riktning. Storleken av vektorn \mathbb{V} betecknas $||\mathbb{V}||$ och kallas för vektorns längd. Det finns en vektor, nollvektorn $\mathbf{0}$, som har längd 0 men saknar riktning.

Vi tänker på en geometrisk vektor som en pil \longrightarrow

Men en pil har en start- och en slutpunkt. Det har inte vektorer. Vektorer bestäms av deras längd och riktning.

Definition: Vi säger att två vektorer är lika om de har samma längd och samma riktning.

Ex Vektorerna \longrightarrow och \rightarrow är inte lika för de har inte samma längd. De har dock samma riktning.

Vektorerna \rightarrow och \downarrow är inte lika. De har samma längd (kanske inte blir det i pdf:en) men inte samma riktning.

Vektorerna \nearrow och \nearrow är lika. De har samma längd och samma riktning. Start och slutpunkt spelar ingen roll!

Ex Hastighet är en vektor. I detta fall kallas storleken för fart (speed).

Givet två punkter A och B så betecknar \overrightarrow{AB} vektorn från A till B. $A \longrightarrow B$
Vi vill kunna räkna med vektorer, dvs göra vektoralgebra.

Definition: Givet en vektor \mathbf{v} och ett tal $a \neq 0$ så är vektorn $a\mathbf{v}$ av den vektorn som uppfyller

1. $\|a \cdot \mathbf{v}\| = \|a\| \cdot \|\mathbf{v}\|$
2. om $a > 0$ då har $a\mathbf{v}$ och \mathbf{v} samma riktning
3. om $a < 0$ då har $a\mathbf{v}$ och \mathbf{v} motsatt riktning

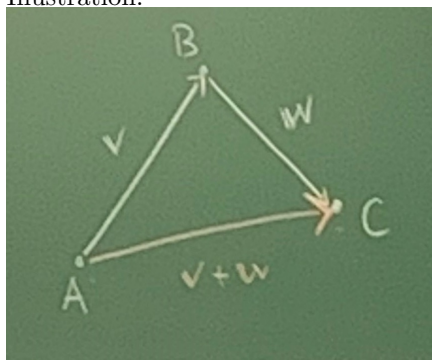
Vi låter $0 \cdot \mathbf{v} = \mathbf{0}$.

Ex Om vektorn \mathbf{v} ges av \nearrow då är $2\mathbf{v}$, $\frac{1}{2}\mathbf{v}$ och $(-1)\mathbf{v}$ vektorerna \nearrow (dubbla längden) \nearrow (halva längden) \nwarrow

Ex Om \mathbf{v} är en vektor med positiv längd, då är $\mathbf{w} = \frac{1}{\|\mathbf{v}\|}\mathbf{v}$ är en vektor med längd 1. Låt oss kolla detta: $\|\mathbf{w}\| = \|\frac{1}{\|\mathbf{v}\|}\mathbf{v}\| = \frac{1}{\|\mathbf{v}\|} \cdot \|\mathbf{v}\| = \frac{1}{\|\mathbf{v}\|} \|\mathbf{v}\| = 1$.
En vektor med längd 1 kallas för en enhetsvektor.

Definition: Om $\mathbf{v} = \overrightarrow{AB}$ och $\mathbf{w} = \overrightarrow{BC}$ då definierar summan av \mathbf{v} och \mathbf{w} som $\mathbf{v} + \mathbf{w} = \overrightarrow{AC}$

Illustration:



Det är ingen inskränkning att anta att \mathbf{w} börjar där \mathbf{v} slutar eftersom vi får flytta vektorer.

1.0.1 Räkneregler

1. $a \cdot (b \cdot \mathbf{v}) = (a \cdot b) \cdot \mathbf{v}$
2. $(a + b)\mathbf{v} = a\mathbf{v} + b\mathbf{v}$
3. $a(\mathbf{v} + \mathbf{w}) = a\mathbf{v} + a\mathbf{w}$
4. $\mathbf{v} + \mathbf{w} = \mathbf{w} + \mathbf{v}$
5. $\mathbf{u} + (\mathbf{v} + \mathbf{w}) = (\mathbf{u} + \mathbf{v}) + \mathbf{w}$

Räkneregeln 5 gör att vi kan skippa paranteser när vi adderar flera vektorer. Vi skriver $\mathbf{u} + \mathbf{v} + \mathbf{w}$

1.1 Linjärkombinationer

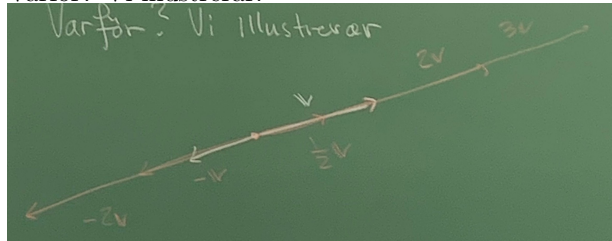
Definition Låt V vara en mängd vektorer och $v_1, \dots, v_n \in V$. En vektor på formen $\mathbf{v} = c_1 v_1 + c_2 v_2 + \dots + c_n v_n$ sägs vara en linjärkombination av v_1, v_2, \dots, v_n . Mängden av alla linjärkombinationer av vektorer från V kallas spannet av V och betecknas $\text{span}(V)$.

Ex Givet \mathbf{v} och \mathbf{w} så är t.ex $2\mathbf{v} - 3\mathbf{w}$ en linjärkombination av \mathbf{v} och \mathbf{w} .

Ex Varje vektor \mathbf{v} är en linjärkombination av sig själv, ty $\mathbf{v} = 1 \cdot \mathbf{v}$

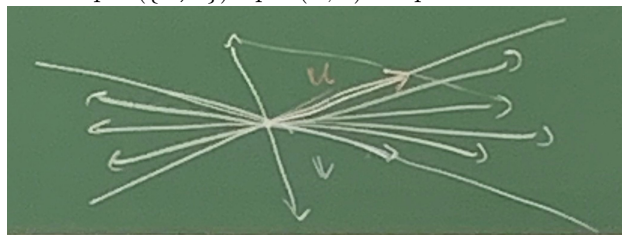
Ex Nollvektorn $\mathbf{0}$ är en linjärkombination av varje mängd v_1, v_2, \dots, v_n vektorer, ty $\mathbf{0} = 0\mathbf{v}_1 + 0\mathbf{v}_2 + \dots + 0\mathbf{v}_n$.

Ex Låt \mathbf{v} vara en noll-skild vektor. Då är $\text{span}(\mathbf{v})$ ($=\text{span}(\{\mathbf{v}\})$) en linje. Varför? Vi illustrerar:



Varje sådan vektor \mathbf{v} kallas för en riktningsvektor för linjen.

Ex Vi säger att två vektorer \mathbf{u} och \mathbf{v} är parallella om de har samma eller motsatt riktning. Låt \mathbf{u} och \mathbf{v} vara två nollskilda och icke-parallella vektorer. Då är $\text{span}(\{\mathbf{u}, \mathbf{v}\}) = \text{span}(\mathbf{u}, \mathbf{v})$ ett plan. Varför?



1.2 Skalarprodukten

Definition Låt \mathbf{u} och \mathbf{v} vara två vektorer och låt α vara den minsta vinkeln mellan \mathbf{u} och \mathbf{v} . Vi definierar skalarprodukten av \mathbf{u} och \mathbf{v} genom

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \|\mathbf{u}\| \cdot \|\mathbf{v}\| \cos(\alpha).$$

Observera att $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}$ är ett tal (en skalär).

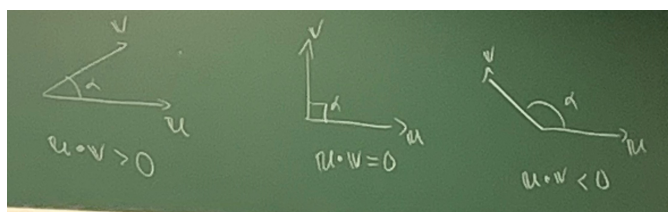
Ex $\mathbf{u} \cdot \mathbf{u} = \|\mathbf{u}\|^2 \cos(0) = \|\mathbf{u}\|^2$

Ex Vi har att (antag att \mathbf{u} och \mathbf{v} är nollskilda)
 $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = 0 \Leftrightarrow \mathbf{u}$ och \mathbf{v} är ortogonala (vinkelräta)

Lösning $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = 0 \Leftrightarrow \|\mathbf{u}\| \cdot \|\mathbf{v}\| \cos(\alpha) = 0 \Leftrightarrow \cos(\alpha) = 0 \Leftrightarrow \alpha = \frac{\pi}{2} \Leftrightarrow \mathbf{u}, \mathbf{v}$ ortogonala

Proposition 1.16 Låt \mathbf{u} och \mathbf{v} vara nollskilda vektorer och låt α vara vinkeln mellan dem. då gäller att

- $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} > 0 \Leftrightarrow \alpha$ spetsig
- $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = 0 \Leftrightarrow \alpha$ rät
- $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} < 0 \Leftrightarrow \alpha$ trubbig

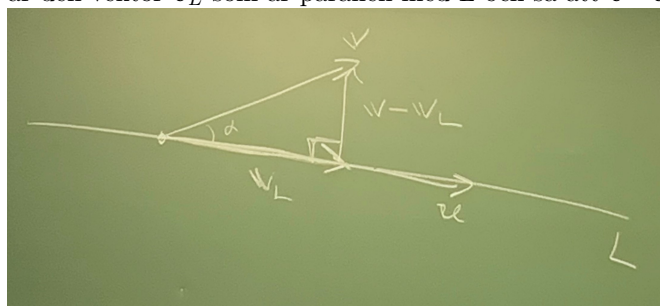


Bevis Eftersom $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \|\mathbf{u}\| \cdot \|\mathbf{v}\| \cos(\alpha)$ så har $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}$ samma tecken som $\cos(\alpha)$. Så

- $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} > 0 \Leftrightarrow \cos(\alpha) > 0$
- $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = 0 \Leftrightarrow \cos(\alpha) = 0$
- $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} < 0 \Leftrightarrow \cos(\alpha) < 0$

Påståendet följer av egenskaper för cosinus. $\cos(\alpha) > 0 \Leftrightarrow 0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$

Definition Låt \mathbf{v} vara en vektor och L en linje. Den ortogonala projektionen av \mathbf{v} på L är den vektor \mathbf{v}_L som är parallell med L och så att $\mathbf{v} - \mathbf{v}_L$ är ortogonal med L.



Proposition 1.18 Låt α och \mathbf{v} vara vektorer och L en linje med riktningsvektor \mathbf{u} . Då gäller att $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{v}_L$

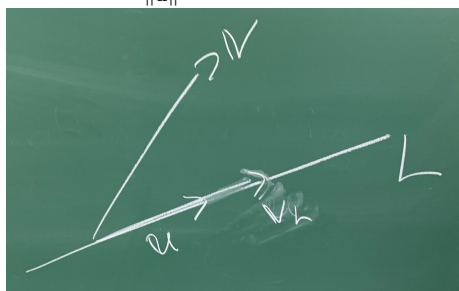
Bevis Låt α vara vinkeln mellan \mathbf{u} och \mathbf{v} . Antag att α är spetsig. Då $\cos(\alpha) = \frac{\|\mathbf{v}_L\|}{\|\mathbf{v}\|}$.

Vi får $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \|\mathbf{u}\| \cdot \|\mathbf{v}\| \cos(\alpha) = \|\mathbf{u}\| \cdot \|\mathbf{v}\| \cdot \frac{\|\mathbf{v}_L\|}{\|\mathbf{v}\|} = \|\mathbf{u}\| \cdot \|\mathbf{v}_L\| \cos(0) = \mathbf{u} \cdot \mathbf{v}_L$ v.s.b

Proposition 1.19

1. $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{u}$
2. $(c\mathbf{u}) \cdot \mathbf{v} = c(\mathbf{u} \cdot \mathbf{v})$
3. $\mathbf{u} \cdot (\mathbf{v} + \mathbf{w}) = \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} + \mathbf{u} \cdot \mathbf{w}$

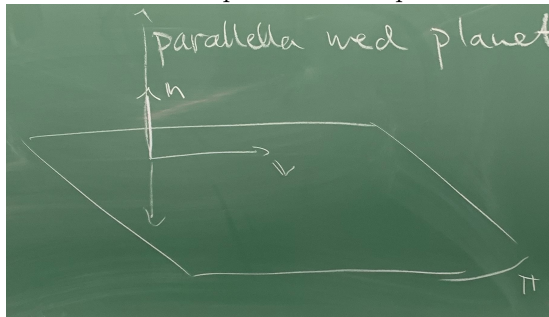
Sats 1.20 Låt \mathbf{u} vara en riktningsvektor för linjen L . Då gäller att $\mathbf{v}_L = \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}} \mathbf{u}$ och $\|\mathbf{v}_L\| = \frac{|\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}|}{\|\mathbf{u}\|^2}$. Illustration:



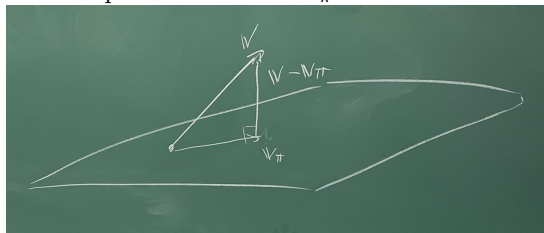
Bevis Vi vet att \mathbf{v}_L och \mathbf{u} är parallella och därför $\mathbf{v}_L = t\mathbf{u}$ för något $t \in \mathbb{R}$.
 $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{v}_L = \mathbf{u} \cdot (t\mathbf{u}) \Rightarrow t = \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}}$.
 Alltså $\mathbf{v}_L t\mathbf{u} = \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}} \mathbf{u}$ och $\|\mathbf{v}_L\| = \left\| \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}} \mathbf{u} \right\| = \frac{|\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}|}{\|\mathbf{u}\|^2} \|\mathbf{u}\| = \frac{|\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}|}{\|\mathbf{u}\|}$

Definition

- En nollskild vektor \mathbf{n} är en normal till ett plan π om $\mathbf{n} \cdot \mathbf{v} = 0$ för alla vektorer \mathbf{v} som är parallella med planet.



- Givet en vektor \mathbf{v} så är den ortogonala projektionen av \mathbf{v} på π , \mathbf{v}_π , den vektor i planet så att $\mathbf{v} - \mathbf{v}_\pi$ är en normal till π .



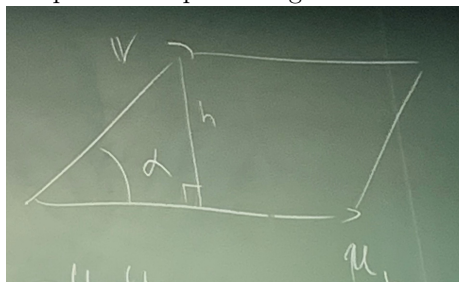
Proposition 1.23 $(\mathbf{u} + \mathbf{v})_\pi = \mathbf{u}_\pi + \mathbf{v}_\pi$ (Inget bevis den här gången)

1.3 Vektorprodukten

När vi studerar vektorprodukter är det viktigt att våra vektorer är i rummet.

Definition En vektortrippel $(\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{w})$ sägs vara höger-orienterad om vyn från \mathbf{w} 's spets ger att den minsta vinkeln mellan \mathbf{u} och \mathbf{v} gett att \mathbf{u} vrids moturs mot \mathbf{v} . Annars sägs trippeln vara vänsterorienterad.

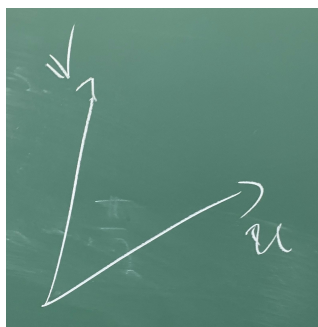
Givet två vektorer \mathbf{u} och \mathbf{v} så spänner de ett plan. Vi kan även se det som att de spänner ett parallelogram



Arealen av detta parallelogram är $\|\mathbf{u}\| \cdot \|\mathbf{v}\| \sin(a)$.

Definition Låt \mathbf{u} och \mathbf{v} vara två vektorer. Vektorprodukten (kryssprodukten) av dem är vektorn $\mathbf{u} \times \mathbf{v}$ så att

1. $\mathbf{u} \times \mathbf{v} = 0$ om \mathbf{u}, \mathbf{v} är parallella
2. $\|\mathbf{u} \times \mathbf{v}\| = \|\mathbf{u}\| \cdot \|\mathbf{v}\| \sin(a)$
3. $\mathbf{u} \times \mathbf{v}$ är ortogonal mot \mathbf{u} och \mathbf{v}
4. $(\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{u} \times \mathbf{v})$ är högerorienterad.



Proposition 1.32

1. $\mathbf{v} \times \mathbf{u} = -\mathbf{u} \times \mathbf{v}$
2. $(c\mathbf{u}) \times \mathbf{v} = \mathbf{u} \times (c\mathbf{v}) = c(\mathbf{u} \times \mathbf{v})$
3. $\mathbf{u} \times (\mathbf{v} + \mathbf{w}) = \mathbf{u} \times \mathbf{v} + \mathbf{u} \times \mathbf{w}$

Chapter 2

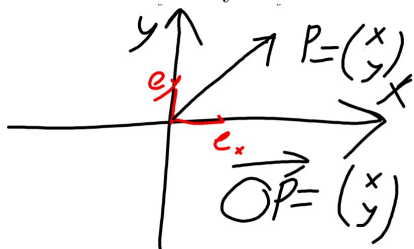
Koordinatsystem (Avs. 1.5)

2.1 Koordinatsystem i ett plan

Vi inför ett koordinatsystem i planet som följer:

1. Vi fixerar en punkt O, som vi kallar origo
2. Vi väljer två vektorer e_x och e_y som är ortogonala mot varann, dvs vinkeln mellan dem är $\frac{\pi}{2}$. Varje vektor v i planet kan skrivas $v = xe_x + ye_y$.
3. x och y kallas för v 's koordinater med avseende på basen e_x, e_y

Givet en bas skriver vi $v = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$. Om $\overrightarrow{OP} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$ säger vi att punkten P har koordinaterna x och y .



Den ortogonala projektionen av v på x-axeln ges av $xe_x = \begin{pmatrix} x \\ 0 \end{pmatrix}$.

2.2 Koordinatsystem i ett rum

Vi inför ett koordinatsystem i rummet som följer.

1. Vi fixerar en punkt O, origo
2. Vi väljer tre enhetsvektorer $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$ som är parvis ortogonala.

Vi skriver detta som $\mathbf{v} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$

3. Vi kallar x,y,z för \mathbf{v} :s koordinater med avseende på basen $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$.

En bas $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$ av enhetsvektorer och där vektorerna är parvis ortogonala kallas för en ON-bas (Orto Normal bas).

Om $\overrightarrow{OP} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ så säger vi att punkten P har koordinaterna x,y,z,

alltså $\mathbf{v} = \mathbf{v}_x + \mathbf{v}_y + \mathbf{v}_z = x\mathbf{e}_x + y\mathbf{e}_y + z\mathbf{e}_z$

Vi väljer (nästan alltid) en ON-Bas så att $(\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z)$ är högerorienterad

Proposition 1.37 Följande regler gäller för koordinaterna av vektorer:

1. $\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 + x_2 \\ y_1 + y_2 \\ z_1 + z_2 \end{pmatrix}$
2. $c \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} cx_1 \\ cy_1 \\ cz_1 \end{pmatrix}$

Sats 1.38 Om $\mathbf{u} = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}$ och $\mathbf{v} = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix}$ i en ON-bas då är

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2$$

$$\|\mathbf{u}\|^2 = x_1^2 + y_1^2 + z_1^2$$

Bevis

standard

dab

Låt $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$ vara ON-basen.

Då är $\|\mathbf{e}_x\| = 1 = \|\mathbf{e}_y\| = \|\mathbf{e}_z\|$ och $\mathbf{e}_x \cdot \mathbf{e}_y = 0 = \mathbf{e}_x \cdot \mathbf{e}_z = \mathbf{e}_y \cdot \mathbf{e}_z$.

Vi har dessutom att $\mathbf{u} = x_1\mathbf{e}_x + y_1\mathbf{e}_y + z_1\mathbf{e}_z$

$$\mathbf{v} = x_2\mathbf{e}_x + y_2\mathbf{e}_y + z_2\mathbf{e}_z$$

$$\begin{aligned} \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} &= (x_1\mathbf{e}_x + y_1\mathbf{e}_y + z_1\mathbf{e}_z) \cdot (x_2\mathbf{e}_x + y_2\mathbf{e}_y + z_2\mathbf{e}_z) = \\ &= x_1x_2\mathbf{e}_x \cdot \mathbf{e}_x + y_1y_2\mathbf{e}_y \cdot \mathbf{e}_y + z_1z_2\mathbf{e}_z \cdot \mathbf{e}_z = x_1x_2\|\mathbf{e}_x\|^2 + y_1y_2\|\mathbf{e}_y\|^2 + z_1z_2\|\mathbf{e}_z\|^2 = \\ &= x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2 \text{ v.s.b} \end{aligned}$$

Ex Beräkna vinkeln mellan $\mathbf{u} = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \end{pmatrix}$ och $\mathbf{v} = \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix}$.

Lösning Låt α vara vinkeln. Då är $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \|\mathbf{u}\| \cdot \|\mathbf{v}\| \cos(\alpha)$

$$\begin{aligned} \text{Vi vet att } \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} &= \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} = 2 \cdot 3 + 1 \cdot 4 + 3 \cdot 1 = 6 + 4 + 3 = 13 \quad \|\mathbf{u}\| = \sqrt{2^2 + 1^2 + 3^2} = \\ &= \sqrt{4 + 1 + 9} = \sqrt{14} \quad \|\mathbf{v}\| = \sqrt{3^2 + 4^2 + 1^2} = \sqrt{9 + 16 + 1} = \sqrt{26} \quad \text{Alltså: } \cos(\alpha) = \\ \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{\|\mathbf{u}\| \cdot \|\mathbf{v}\|} &= \frac{13}{\sqrt{14} \sqrt{26}} = \frac{13\sqrt{13}}{\sqrt{2} \sqrt{7} \sqrt{2} \sqrt{13} \sqrt{13}} = \frac{\sqrt{13}}{2\sqrt{7}} \quad \text{Därför är } \alpha = \arccos\left(\frac{\sqrt{13}}{2\sqrt{7}}\right). \end{aligned}$$

Sats 1.42 Om $\mathbf{u} = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}$ och $\mathbf{v} = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix}$ i en högerorienterad ON-bas då är

$$\mathbf{u} \times \mathbf{v} = \begin{pmatrix} y_1 z_2 - z_1 y_2 \\ z_1 x_2 - x_1 z_2 \\ x_1 y_2 - y_1 x_2 \end{pmatrix}$$

Ex Bestäm en vektor som är ortogonal mot både $\mathbf{u} = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ 4 \end{pmatrix}$ och $\mathbf{v} = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 5 \end{pmatrix}$.

Lösning Vi vet att $\mathbf{u} \times \mathbf{v}$ är ortogonal mot \mathbf{u} och \mathbf{v} !

$$\mathbf{u} \times \mathbf{v} = \begin{pmatrix} 3 \cdot 5 - 4 \cdot 1 \\ 4 \cdot 2 - 2 \cdot 5 \\ 2 \cdot 1 - 3 \cdot 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 - 4 \\ 9 - 10 \\ 2 - 6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11 \\ -1 \\ -4 \end{pmatrix}$$

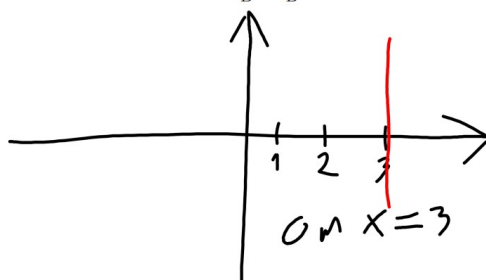
Chapter 3

Linjer och plan (Avsnitt 1.6)

3.0.1 Linjer

Samtliga linjer i planet går att beskriva med en ekvation på $Ax + By + C = 0$. Om $B \neq 0$ så är det samma sak som $By = -C - Ax \Leftrightarrow y = \frac{C}{B} - \frac{A}{B}x$ så typ $y = kx + m$

Exempelvis, vad är $x=3$ för linje? Här är $B = 0$!



Y-axeln beskrivs av ekvationen $x=0$.

Hur bestäms en linje? Jo, en linje bestäms av en punkt P_0 tillsammans med en riktningsvektor \mathbf{v} . Linjen ges då av alla x, y så att $\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = P_0 + t\mathbf{v}$

Om vi har en linje given av $Ax + By + C = 0$, hur hittar vi en riktningsvektor?

Ex Bestäm en ekvation för den linje som går igenom $P = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ och $Q = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$.

Lösning Vektorn $\mathbf{v} = \overrightarrow{QP} = Q - P = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$

Linjen ges av: $\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1+t \\ 1 \\ -t \end{pmatrix}$

3.1 Linjer i planet

Vi har sett att linjer i planet går att beskriva med en ekvation $Ax + By + C = 0$. Detta sägs vara linjens ekvation på normalform. Vektorn $\begin{pmatrix} 0 \\ -C/B \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -C/A \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C/A \\ -C/B \end{pmatrix}$ är en riktningsvektor. Men då är även $\frac{AB}{C} \begin{pmatrix} C/A \\ -C/B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B \\ -A \end{pmatrix}$ är en riktningsvektor! Men då är $\mathbf{n} = \begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix}$ en normal! Varför? Jo, $\begin{pmatrix} B \\ -A \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = BA + (-A)B = 0$. En linje beskriven av ekvationen $Ax + By + C = 0$ har $\mathbf{n} = \begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix}$ som en normal. Vektorn $\begin{pmatrix} B \\ A \end{pmatrix}$ är en riktningsvektor.

Ex En linje ges av $\begin{cases} x = 1 + t \\ y = 3 + 2t \end{cases}$. Skriv linjen på normalform.

Lösning Vi vill bli av med t !
 $t = 1 - x$ och $2t = y - 3 \Leftrightarrow t = \frac{y-3}{2}$
Alltså: $1 - x = \frac{y-3}{2} \Leftrightarrow x + \frac{y}{2} - \frac{3}{2} - 1 = 0 \Leftrightarrow \text{MISSADE LITE}$

Chapter 4

Plan i rummet

Ett plan bestäms av en punkt och två icke-parallella vektorer som ligger i planet. Men ett plan bestäms också av en punkt samt en normalvektor. Vi kan exempelvis välja $\mathbf{u} \times \mathbf{v}$ som normal. Planets ekvation på parameterform:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} + s \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix}$$

Här är s, t parametrar.

Antag att $\mathbf{n} = (A, B, C)$ är en normal till planet. Då är (x, y, z) en punkt planet

$$\Leftrightarrow \mathbf{n} \cdot \overrightarrow{P_0P} = 0 \Leftrightarrow \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{pmatrix} = 0 \Leftrightarrow Ax + By + Cz - (Ax_0 + By_0 + Cz_0) = 0$$

Alltså: Planet ges av $Ax + By + Cz + D = 0$ där $\mathbf{n} = (A, B, C)$ är en normal till planet!/? Detta är planets ekvation på normalform!

Ex Punkterna $P = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$, $Q = \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 5 \end{pmatrix}$ och $R = \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \\ 8 \end{pmatrix}$ ligger på ett plan. Skriv ner planets ekvation på parameterform och på normalform.

Lösning

$$\mathbf{u} = \overrightarrow{PQ} = \overrightarrow{OQ} - \overrightarrow{OP} = \begin{pmatrix} 0 \\ 4 \\ 5 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ 2 \\ 2 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{v} = \overrightarrow{PR} = \overrightarrow{OR} - \overrightarrow{OP} = \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \\ 8 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 5 \end{pmatrix}$$

$$\text{Planet på parameterform: } \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} + s \begin{pmatrix} -1 \\ 2 \\ 2 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 5 \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{cases} x = 1 - s + 2t \\ y = 2 + 2s + t \\ z = 3 + 2s + 5t \end{cases}$$

$$\text{En normal ges av } \mathbf{n} = \mathbf{u} \times \mathbf{v} = \begin{pmatrix} 2 \cdot 5 - 2 \cdot 1 \\ 2 \cdot 2 - (-1) \cdot 5 \\ (-1) \cdot 1 - 2 \cdot 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 \\ 9 \\ 5 \end{pmatrix}$$

Planet ges av $8x = 9y - 5z + D = 0$. Punkten $p = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$ ligger på planet!

$$8 \cdot 1 + 9 \cdot 2 - 5 \cdot 3 + D = 0 \Leftrightarrow 26 - 15 + D = 0 \Leftrightarrow D = 15 - 26 = -11$$

Planets ekvation på normalform: $8x + 9y - 5z - 11 = 0$

4.1 Avstånd från en punkt till en linje

Antag att vi har en linje L och en punkt P. Tag R på linjen och låt Q vara den punkt på L som är närmast P.

$$\text{Då är } \overrightarrow{RQ} = \overrightarrow{RP_L}. \quad d = \|\overrightarrow{RP} - \overrightarrow{RQ}\| = \|\overrightarrow{RP} - \overrightarrow{RP_L}\|$$

Ex Beräkna avståndet från $P = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ till linjen L som ges av $\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}$

Lösning Låt $R = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$. $\overrightarrow{RP} = \overrightarrow{OP} - \overrightarrow{OR} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ En riktningsvek-

tor för linjen är $\mathbf{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}$ Då är $\overrightarrow{RP_L} = \frac{\overrightarrow{RP} \cdot \mathbf{v}}{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}} \mathbf{v} = \frac{\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} = \frac{1+2}{1+4} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} = \frac{3}{5} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}$

$$d = \|\overrightarrow{RP} - \overrightarrow{RP_L}\| = \left\| \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \frac{3}{5} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} \right\| = \left\| \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{2}{5} \\ \frac{1}{5} \end{pmatrix} \right\| = \sqrt{0^2 + \frac{2^2}{5} + \left(-\frac{1}{5}\right)^2} = \frac{1}{5} \sqrt{4+1} = \frac{\sqrt{5}}{5}$$

4.2 Avstånd från en punkt till ett plan

Låt π vara ett plan givet av $Ax + By + Cz + D = 0$ och $P = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ någon punkt.

Tag $P_0 = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix}$ i planet.

$$\text{N är en linje som är normal till } \pi. \quad d = \|\overrightarrow{P_0 P_N}\| = \frac{\|\overrightarrow{P_0 P_N} \cdot \mathbf{n}\|}{\|\mathbf{n}\|} = \frac{\begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix}}{\left\| \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} \right\|}$$

Chapter 5

Matrisoperationer

Definition En matris är ett tvådimensionellt fält av reella tal. Om matrisen har m rader och n kolumner sägs det vara en $(m \times n)$ -matris, eller en matris

av typ $m \times n$.
$$\begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \vdots & \\ \cdots & & & \end{pmatrix}$$
 Matriser av samma typ adderas

komponentvis. Exempelvis:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 4 & 3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 5 & 8 \\ 6 & 7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1+5 & 2+8 \\ 4+6 & 3+7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 & 10 \\ 10 & 10 \end{pmatrix}$$
 Matriser av olika typ adderas inte! Vi har sett exempel på matriser i kolonnvektorer. En matris på formen $(a_1 \ a_2 \ \cdots \ a_n)$ är en radvektor.

Produkten av en matris med ett reellt tal definieras också "komponentvis".

Exempelvis:

$$2 \cdot \begin{pmatrix} 2 & 6 \\ 4 & 8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \cdot 2 & 3 \cdot 6 \\ 3 \cdot 4 & 3 \cdot 8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 & 18 \\ 12 & 24 \end{pmatrix}$$

Definition Givet en 3×3 -matris $A = \begin{pmatrix} | & | & | \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ | & | & | \end{pmatrix}$ och en (kolumn)vektor

$\mathbf{v} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix}$ definierar vi deras produkt som

Proposition 2.11

1. $A + B = B + A$
2. $A(\mathbf{u} + \mathbf{v}) =$
3. $(A + B)\mathbf{v} = A\mathbf{v} + B\mathbf{v}$
4. $A(c\mathbf{v}) = c(A\mathbf{v}) = (cA)\mathbf{v}$

5.1 Produkter av matriser

Definition Låt A och B vara 3×3 -matriser och $B = \begin{pmatrix} | & | & | \\ \mathbf{b}_1 & \mathbf{b}_2 & \mathbf{b}_3 \\ | & | & | \end{pmatrix}$.

Vi definierar produkten av A och B genom $AB = A \begin{pmatrix} | & | & | \\ \mathbf{b}_1 & \mathbf{b}_2 & \mathbf{b}_3 \\ | & | & | \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} | & | & | \\ A\mathbf{b}_1 & A\mathbf{b}_2 & A\mathbf{b}_3 \\ | & | & | \end{pmatrix}$

Ex Låt $A = \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 4 & 6 \end{pmatrix}$ och $B = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 5 & 7 \end{pmatrix}$. Beräkna AB och BA .

Lösning $AB = \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 4 & 6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 5 & 7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 & 14 \\ 34 & 54 \end{pmatrix}$

Proposition 2.14 Låt A och B vara $n \times n$ -matriser där A på position (i, j) har talet a_{ij} och B på position (i, j) har talet b_{ij} . Låt $C = AB$ och låt c_{ij} vara talet för C på position (i, j) . Då $c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik}b_{kj}$.

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik}b_{kj}$$

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} | & | & | & | \\ & & & \\ | & | & | & | \end{pmatrix}$$

Låt oss använda Prop 2.14 för att beräkna AB från exemplet ovan:

$$AB = \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 4 & 6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 5 & 7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \cdot 1 + 2 \cdot 5 & 0 \cdot 3 + 2 \cdot 7 \\ 4 \cdot 1 + 6 \cdot 5 & 4 \cdot 3 + 6 \cdot 7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 & 14 \\ 34 & 54 \end{pmatrix}$$

Proposition 2.16 Låt A, B, C vara $n \times n$ -matriser.

1. $A(cB) = c(AB) = (cA)B$
2. $A(B + C) = AB + AC$
3. $(B + C)A = BA + CA$
4. $A(B\mathbf{v}) = (AB)\mathbf{v}$
5. $A(BC) = (AB)C$

Kom ihåg att $AB \neq BA$!

Definition Givet en $m \times n$ -matris A så ges dess transponat, A^t , av den $n \times m$ -matris av att $a_{ij}^t = a_{ji}$.

Ex Om $a = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 3 & 6 & 9 \end{pmatrix}$ då $A^t = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 6 \\ 4 & 9 \end{pmatrix}$

Definition En $n \times n$ -matris A sägs vara symmetrisk om $A^t = A$.

Ex Matriserna $\begin{pmatrix} 1 & 5 \\ 5 & 3 \end{pmatrix}$ och $\begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 2 & 10 \\ -1 & 10 & 8 \end{pmatrix}$ är symmetriska.

Proposition 2.21 Låt A, B vara $n \times n$ -matriser.

1. $(a^t)^t = A$
2. $(A + B)^t = A^t + B^t$
3. $(cA)^t = cA^t$
4. $(AB)^t = B^t A^t$

Chapter 6

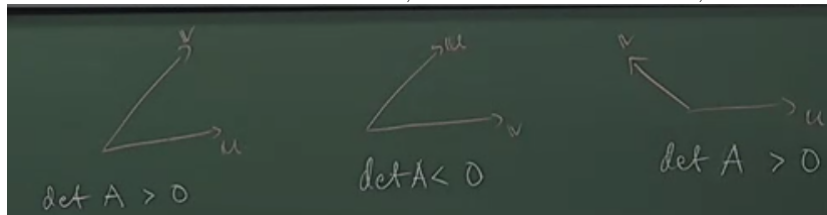
Determinanter (Avs. 2.2)

Definition Givet en 2×2 -matris $a = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ låter vi dess determinant vara

$$\det(A) = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} = ad - bc.$$

Ex Om $A = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ då är $\det(A) = \begin{vmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = 2 \cdot 1 - 0 \cdot 0 = 2$. Om vi låter $\mathbf{u} = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$, $\mathbf{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ då är arean av parallelogrammet som \mathbf{u} och \mathbf{v} spänner 2.

Sats 2.24 Låt $A = (\mathbf{u} \quad \mathbf{v}) = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ och låt D vara parallelogrammet som spänns av \mathbf{u} och \mathbf{v} . Då är $|\det(A)| = \text{area}(D)$. Dessutom är $\det(A) > 0$ om och endast om vinkeln mellan \mathbf{u} och \mathbf{v} , då \mathbf{u} vrids moturs till \mathbf{v} , är mellan 0 och π .



Bevis Vad är $\text{area}(D)$? Låt L vara en linje som är ortogonal mot $\mathbf{u} = \begin{pmatrix} a \\ c \end{pmatrix}$.

Då är $\mathbf{r} = \begin{pmatrix} c \\ -a \end{pmatrix}$ en riktningsvektor för L ty $\mathbf{r} \cdot \mathbf{u} = 0$.

$$\text{area}(D) = \|\mathbf{u}\| \cdot \|\mathbf{v}_L\| = \|\mathbf{u}\| \cdot \left\| \frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{r}}{\mathbf{r} \cdot \mathbf{r}} \right\| = \|\mathbf{u}\| \cdot \frac{|\mathbf{v} \cdot \mathbf{r}|}{\|\mathbf{r}\|^2} \cdot \|\mathbf{r}\| = \frac{\|\mathbf{u}\|}{\|\mathbf{r}\|} |\mathbf{v} \cdot \mathbf{r}| = \frac{\sqrt{a^2 + c^2}}{\sqrt{c^2 + (-a)^2}} \left| \begin{pmatrix} b \\ d \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} c \\ -a \end{pmatrix} \right|$$

$$\left| \begin{pmatrix} c \\ -a \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b \\ d \end{pmatrix} \right| = |bc - da| = |ad - bc| = |\det(A)|$$

Observera att Sats 2.24 speciellt ger att $\det(A) = 0 \Leftrightarrow \mathbf{u}, \mathbf{v}$ parallella

Definition Låt $A = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{pmatrix}$. Då ges dess determinant av $\det(A) =$

$$\begin{vmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{vmatrix} = x_1(y_2z_3 - z_2y_3) - x_2(y_1z_3 - z_1y_3) + x_3(y_1z_2 - z_1y_2)$$

En minnesregel för kryssprodukt:

$$\mathbf{u} = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix}, \mathbf{v} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} \text{ i } e_x, e_y, e_z. \text{ Då ges } \mathbf{u} \times \mathbf{v} = \begin{vmatrix} e_x & e_y & e_z \\ u_1 & u_2 & u_3 \\ v_1 & v_2 & v_3 \end{vmatrix} = e_x(u_2v_3 - v_2u_3) - e_y(u_1v_3 - v_1u_3) + e_z(u_1v_2 - v_1u_2)$$