שיעור 14
סכום ישר

דוגמה 14.1 סכום ישר

נניח ש

$$U_1=\left\{\begin{pmatrix}0\\y\\z\end{pmatrix}\middle|y,z\in\mathbb{R}\right\}$$

תת מרחב של $\mathbb{R}^3$ ו

$$U_2=\left\{\begin{pmatrix}x\\0\\z\end{pmatrix}\middle|x,z\in\mathbb{R}\right\}$$

תת מרחב של $\mathbb{R}^3$.

אז $\dim(U_1)=\dim(U_2)=2$.

$$U_1\cap U_2=\left\{\begin{pmatrix}0\\0\\z\end{pmatrix}\middle|z\in\mathbb{R}\right\}\ ,\dim(U_1\cap U_2)=1\ .$$

$$U_1+U_2=\left\{\begin{pmatrix}0\\y_1\\z_1\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}x_2\\0\\z_2\end{pmatrix}\middle|y_1,z_1,x_2,z_2\in\mathbb{R}\right\}=\left\{\begin{pmatrix}x_2\\y_1\\z_1+z_2\end{pmatrix}\middle|x_2,y_1,z_1+z_2\in\mathbb{R}\right\}=\mathbb{R}^3\ .$$

אז כל וקטור $\begin{pmatrix}x\\y\\z\end{pmatrix}\in U_1+U_2$ ניתן להציג כסכום של וקטורים של U_1 ו U_2 באינסוף דרכים שונות:

$$\begin{pmatrix}x\\y\\z\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0\\y\\z\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}x\\0\\0\end{pmatrix}\ ,$$
$$\begin{pmatrix}x\\y\\z\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0\\y\\z-z_0\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}x\\0\\z_0\end{pmatrix}$$

לכל $z_0\in\mathbb{R}$.

דוגמה 14.2

$$U_1=\left\{\begin{pmatrix}0\\y\\z\end{pmatrix}\middle|y,z\in\mathbb{R}\right\}$$
$$U_2=\left\{\begin{pmatrix}x\\0\\0\end{pmatrix}\middle|x\in\mathbb{R}\right\}$$

U_1, U_2 תת מרחבים של U_1, U_2.

$$\dim(U_1)=2\ ,\qquad \dim(U_2)=1\ .$$

$$U_1\cap U_2=\{\bar{0}\}\ ,$$

$$U_1+U_2=\mathbb{R}^3\ ,$$

ולכל וקטור $\begin{pmatrix}x\\y\\z\end{pmatrix}\in\mathbb{R}^3$ יש דרך יחידה להציג אותו כסכום של וקטורים של U_1 ו U_2:

$$\begin{pmatrix}x\\y\\z\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0\\y\\z\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}x\\0\\0\end{pmatrix}\ .$$

דוגמה **??** היא דוגמה של סכום ישר של תת מרחבים.

הגדרה 14.1 סכום ישר

יהיו U_1 ו U_2 שני תת מרחבים של מרחב וקטורי V מעל שדה $\mathbb{F}$.
תת מרחב W של מרחב וקטורי V נקרא סכום ישר של U_1 ו U_2 אם ורק אם מתקיימים:

א) $W=U_1+U_2$

ב) לכל וקטור של W יש הצגה יחידה כסכום של וקטורים ב U_1 וב U_2.

סימון:

$$W=U_1\oplus U_2$$

הסכום הישר של U_1, U_2.

משפט 14.1

יהי V מרחב וקטורי מעל שדה $\mathbb{F}$, U ו W תת מרחבים של V. אז $V=U\oplus W$ אם ורק אם

א) $V=U+W$

ב) $U\cap W=\{\bar{0}\}$.

הוכחה:

1) נניח כי $V=U\oplus W$. אז לפי הגדרה **??**, סכום ישר $V=U+W$. נשאר להוכיח כי $U\cap W=\{\bar{0}\}$.
נניח $\mathrm{v}\in U\cap W$, אז $\mathrm{v}\in U$ וגם $\mathrm{v}\in$. לכן אפשר לרשום

$$\mathrm{v}=\underset{\in U}{\mathrm{v}}+\underset{\in W}{\bar{0}}$$

וגם

$$\mathrm{v} = \underset{\in U}{\bar{0}} + \underset{\in W}{\mathrm{v}}$$

מכיוון שהסכום הוא ישר, יש רק דרך יחידה לרשום את v כסכום של וקטורים של U ו W. לכן $\mathrm{v}=\bar{0}$.

2) נניח כי $V=U+W$ וגם $U\cap W=\{\bar{0}\}$.
נוכיח כי $V=U\oplus W$.

לפי הגדרת סכום ישר **??**, נשאר להוכיח כי כל וקטור $\mathrm{v}\in V$ ניתן להציג בדרך יחידה כסכום של וקטורים של U ו W.

נקח $\mathrm{v}\in V$. נניח כי $\mathrm{v}=u_1+\mathrm{w}_1$ וגם $\mathrm{v}=u_2+\mathrm{w}_2$ כאשר $u_1,u_2\in U$, $w_1,w_2\in W$.
אז

$$u_1+w_1=u_2+w_2 \qquad \Rightarrow \qquad u_1-u_2=w_2-w_1$$

(כאשר $u_1-u_2\in U$ ו $w_2-w_1\in W$. לכן

$$u_1-u_2=w_2-w_1\in U\cap W=\{\bar{0}\}\ .$$

מכאן, $u_1-u_2=\bar{0}$ וגם $w_2-w_1=\bar{0}$.
לכן $u_1=u_2$ וגם $w_1=w_2$.

■

דוגמה 14.3

נסמן

$$U=\left\{\begin{pmatrix}a&b\\b&c\end{pmatrix}\middle|a,b,c\in\mathbb{F}\right\}$$

$$W=\left\{\begin{pmatrix}0&b\\-b&0\end{pmatrix}\middle|b\in\mathbb{F}\right\}$$

U קבוצת כל המטריצות הסימטריות מסדר 2×2,

W קבוצת כל המטריצות האנטי-סימטריות מסדר 2×2.
U, W תת מרחבים של מרחב וקטורי $\mathbb{F}^{2\times 2}$. הראו כי $\mathbb{F}^{2\times 2}=U\oplus W$.

הוכחה:

1) <u>צריך להוכיח:</u> $U\cap W=\{\bar{0}\}$.

נניח $\mathrm{v}\in U\cap W$. $\Leftarrow$

$$\mathrm{v}=\begin{pmatrix}a_1&b_1\\b_1&c_1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0&b_2\\-b_2&0\end{pmatrix}$$

מכאן, $a_1=0$, $c_1=0$, $b_1=b_2$ ו $b_1=-b_2$.

לכן $b_1=b_2=0$.

ז"א $\mathrm{v}=\bar{0}$.

2) <u>נוכיח כי:</u> $\mathbb{F}^{2\times 2}=U+W$.

לכל מטריצה $A\in\mathbb{F}^{2\times 2}=\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$. נגדיר מטריצות $B=A+A^t$ ו $C=A-A^t$, ז"א

$$B=\begin{pmatrix} 2a & b+c \\ c+b & 2d \end{pmatrix}\in U$$

$$C=\begin{pmatrix} 0 & b-c \\ c-b & 0 \end{pmatrix}\in W$$

אז

$$A=\frac{1}{2}B+\frac{1}{2}C\in U+W\ .$$

■

משפט 14.2

נניח ש V מרחב וקטורי ממיד n, U תת מרחב של V ממימד m, אז קיים תת מרחב W ממימד $n-m$ כך ש $V=U\oplus W$.

הוכחה: נבחר בסיס כלשהו של U:

$$u_1,\ldots,u_m$$

ונשלים אותו לבסיס של V:

$$u_1,\ldots,u_m,u_{m+1},\ldots,u_n$$

אז

$$U=\text{span}(u_1,\ldots,u_m)$$
$$V=\text{span}(u_1,\ldots,u_n)$$

נגדיר

$$W=\text{span}(u_{m+1},\ldots,u_n)$$

נוכיח כי $V=U\oplus W$.

1) לכל $\mathrm{v}\in V$ קיימים סקלרים $k_1,\ldots,k_n\in\mathbb{F}$ כך ש

$$\mathrm{v}=k_1u_1+\ldots+k_mu_m+k_{m+1}u_{m+1}+\ldots+k_nu_n$$

נסמן

$$u=k_1u_1+\ldots+k_mu_m\in U\ ,\qquad w=k_{m+1}u_{m+1}+\ldots+k_nu_n\in W\ .$$

אז $\mathrm{v}=u+w \Leftarrow V=U+W$.

2) <u>נוכיח כי:</u> $U\cap W=\{\bar{0}\}$.

נניח $\mathrm{v}\in U\cap W \Leftarrow \mathrm{v}\in U$ ו $\mathrm{v}\in W$.

לכן

$$\mathrm{v}=k_1u_1+\ldots+k_mu_m$$

וגם
$$\mathrm{v} = k_{m+1}u_{m+1} + \ldots + k_n u_n$$
מכאן:
$$k_1u_1 + \ldots + k_m u_m - k_{m+1}u_{m+1} - \ldots - k_n u_n = \bar{0}\ .$$
$u_1, \ldots, u_n$ בת"ל לכן
$$k_1 = 0, \ldots, k_n = 0\ .$$
מכאן מקבלים כי $\mathrm{v} = \bar{0}$.

משל.

■