b) *1. rovníková (ekvatoreální) soustava.* Základní rovinou je rovina rovníku a základním směrem její průsečnice s rovinou místního poledníku. Souřadnice jsou hodinový úhel (t) a deklinace (δ). Hodinový úhel měříme v rovině rovníku kladně na západ v intervalu od 0h do 24h, od jižní větve místního poledníku, deklinace se měří kolmo k rovině rovníku v intervalu od -90° do $+90^\circ$, kladně směrem severním. Občas se namísto deklinace používá pólová distance, měřená od severního pólu, a tedy rovná doplňku deklinace do 90°.

c) *2. rovníková (ekvatoreální) soustava.* Základní rovinou je rovina rovníku a základním směrem její průsečnice s rovinou ekliptiky (spojnice jarního a podzimního bodu). Souřadnice jsou rektascenze (α) a deklinace (δ). Rektascenzi počítáme v rovině rovníku kladně od jarního bodu směrem na východ v intervalu od 0h do 24h. Obě rovníkové soustavy se liší jednak tím, že vzájemně rotují s periodou jednoho hvězdného dne, jednak tím, že jejich první souřadnice jsou orientovány v opačném smyslu.

d) *Ekliptikální soustava.* Základní rovinou je rovina dráhy Země kolem Slunce (ekliptika), základním směrem v ní je směr k jarnímu bodu. Souřadnice jsou délka (λ) a šířka (β). Délku měříme od jarního bodu kladně směrem východním v rovině ekliptiky v intervalu 0° – 360°, šířka se měří kolmo k ekliptice kladně na sever v intervalu od -90° do $+90^\circ$.

2.2 Transformace souřadnic

Pokud se jedná o transformaci mezi dvěma souřadnicovými soustavami s týmž počátkem, tedy o pouhou rotaci, lze ji provádět buď přímo ve sférických souřadnicích, nebo v souřadnicích pravoúhlých. Jde-li však navíc ještě o změnu počátku, tedy o translaci, je druhý způsob bezesporu mnohem výhodnější; při použití osobního počítače nepředstavuje žádný problém ani z praktického hlediska. Obecnou rotaci souřadnicové soustavy lze vždy popsat maximálně třemi po sobě následujícími jednoduchými rotacemi kolem tří různých os. Každá z těchto rotací vede k transformaci, kterou lze vyjádřit násobením vektoru definujícího pravoúhlé souřadnice bodu v dané soustavě, tzv. rotační maticí. Označíme-li symbolem θ úhel otočení, jsou příslušné rotační matice v pravotočivé soustavě rovny

$$R_1(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$$ pro otočení kolem osy x,

$$R_2(\theta) = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix}$$ pro otočení kolem osy y,

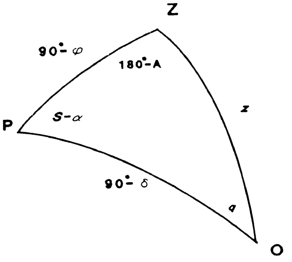
$$R_3(\theta) = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$ pro otočení kolem osy z.

Obecná rotace souřadnicové soustavy je tedy pak dána násobkem až tří shora uvedených rotačních matic.

Transformace ve sférických souřadnicích je výhodná, jde-li o soustavy o stejném počátku. V takovém případě se délka průvodiče nemění a transformace se týká pouze úhlových veličin. Při převodu mezi obzorníkovými a ekvatoreálními souřadnicemi jde o otočení kolem osy kolmé k rovině místního poledníku o úhel $90^\circ - \varphi$ (φ značí zeměpisnou šířku, vztah mezi hodinovým úhlem a rektascenzí je dán rovnicí $t = S - \alpha$, kde S je místní hvězdný čas). Transformace oběma směry je dána řešením nautického trojúhelníka o vrcholech ve světovém pólu P, místním zenitu Z a pozorovaném objektu O (viz obr. 1):

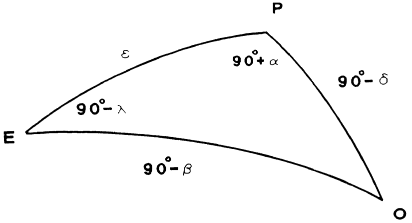
$$\begin{aligned} \sin z \cos A &= -\cos\varphi \sin\delta + \sin\varphi \cos\delta \cos t, \\ \sin z \sin A &= \cos\delta \sin t, \\ \cos z &= \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos\delta \cos t &= \cos\varphi \cos z + \sin\varphi \sin z \cos A, \\ \cos\delta \sin t &= \sin z \sin A, \\ \sin\delta &= \sin\varphi \cos z - \cos\varphi \sin z \cos A. \end{aligned}$$



Obr. 1 *Nautický trojúhelník*

Převod mezi ekvatoreálními a ekliptikálními souřadnicemi je dán otočením kolem spojnice jarního a podzimního bodu o úhel ε (sklon ekliptiky, jehož hodnota je časově proměnná vlivem precese a nutace – viz dále) naznačeného na obr. 2 (E je pól ekliptiky, P světový pól a O pozorovaný objekt):



Obr. 2 *Vztah mezi ekliptikální a rovníkovou soustavou.*

$$
\begin{aligned}
\cos\delta \cos\alpha &= \cos\beta \cos\lambda, \\
\cos\delta \sin\alpha &= -\sin\beta \sin\varepsilon + \cos\beta \sin\lambda \cos\varepsilon, \\
\sin\delta &= \sin\beta \cos\varepsilon + \cos\beta \sin\lambda \sin\varepsilon,
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\cos\beta \cos\lambda &= \cos\delta \cos\alpha, \\
\cos\beta \sin\lambda &= \sin\delta \sin\varepsilon + \cos\delta \sin\alpha \cos\varepsilon, \\
\sin\beta &= \sin\delta \cos\varepsilon - \cos\delta \sin\alpha \sin\varepsilon.
\end{aligned}
$$

Transformace v pravoúhlých souřadnicích. Označíme-li vektory v pravoúhlé obzorníkové soustavě jako $\boldsymbol{X}_0 = (x_0, y_0, z_0)^T$, v 1. rovníkové jako $\boldsymbol{X}_{r1} = (x_{r1}, y_{r1}, z_{r1})^T$, ve 2. rovníkové jako $\boldsymbol{X}_{r2} = (x_{r2}, y_{r2}, z_{r2})^T$ a v ekliptikální jako $X_e = (x_e, y_e, z_e)^T$, jsou jejich složky v pravotočivé soustavě rovny (je-li r průvodič):

$$
\begin{aligned}
x_o &= r \sin z \cos A, & x_{r1} &= r \cos\delta \cos t,\\
y_o &= -r \sin z \sin A, & y_{r1} &= -r \cos\delta \sin t,\\
z_o &= r \cos z, & z_{r1} &= r \sin\delta,
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
x_{r2} &= r \cos\delta \cos\alpha, & x_e &= r \cos\beta \cos\lambda,\\
y_{r2} &= r \cos\delta \sin\alpha\ , & y_e &= r \cos\beta \sin\lambda,\\
z_{r2} &= r \sin\delta, & z_e &= r \sin\beta.
\end{aligned}
$$

Zde jsme ovšem uvážili, že azimut a hodinový úhel mají opačnou orientaci než rektascenze a délka, a změnili jsme znaménka souřadnice y v prvních dvou soustavách. Transformace mezi jednotlivými soustavami (o stejném počátku) jsou potom dány maticovými rovnicemi

$$X_o = R_2(90^\circ - \varphi) \cdot X_{r1}, \quad X_{r1} = R_3(S) \cdot X_{r2}, \quad X_{r2} = R_1(-\varepsilon) \cdot X_e,$$

a tedy

$$
\begin{aligned}
x_o &= x_{r1} \sin\varphi - z_{r1} \cos\varphi, & x_{r1} &= x_o \sin\varphi + z_o \cos\varphi,\\
y_o &= y_{r1}\ , & y_{r1} &= y_o\ ,\\
z_o &= x_{r1} \cos\varphi + z_{r1} \sin\varphi, & z_{r1} &= x_o \sin\varphi - z_o \cos\varphi,
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
x_{r1} &= x_{r2} \cos S + y_{r2} \sin S, & x_{r2} &= x_{r1} \cos S - y_{r1} \sin S,\\
y_{r1} &= -x_{r2} \sin S + y_{r2} \cos S, & y_{r2} &= x_{r1} \sin S + y_{r1} \cos S,\\
z_{r1} &= z_{r2}\ , & z_{r2} &= z_{r1}\ ,
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
x_{r2} &= x_e\ , & x_e &= x_{r2}\ ,\\
y_{r2} &= y_e \cos\varepsilon - z_e \sin\varepsilon, & y_e &= z_{r2} \sin\varepsilon + y_{r2} \cos\varepsilon,\\
z_{r2} &= y_e \sin\varepsilon + z_e \cos\varepsilon, & z_e &= z_{r2} \cos\varepsilon - y_{r2} \sin\varepsilon\ .
\end{aligned}
$$

Translace v pravoúhlých souřadnicích je velice snadná; tak např. převod mezi geocentrickou (x_g , y_g , z_g) a heliocentrickou (x_h , y_h , z_h) soustavou, známe-li geocentrické souřadnice Slunce X, Y, Z, je dán jednoduchými rovnicemi:

$$x_g = x_h + X, \qquad y_g = y_h + Y, \qquad z_g = z_h + Z.$$

Podobné vztahy platí i pro translace mezi ostatními soustavami.