

Středověká arabská astronomie

Drahomír Dušátko

Astronomie jako teoretická a praktická věda měla ve středověké arabské vědě a kultuře po dlouhá století velký význam. Zprvu v prostředí blízkého Východu, později na Iberském poloostrově, kde s využitím výsledků řeckého, indického a perského dědictví dosáhla v podmínkách podpory ze strany tehdejších vládců al-Andalúsu a zájmu západoevropských vzdělanců nebývalého rozkvětu. Velký význam měl v pozdním středověku přenos arabské vzdělanosti pro rozvoj věd v renesanční Evropě.

Představy Arabů o Vesmíru a touha po poznání

Obyvatelé Arabského poloostrova, známí od roku 500, se po roce 622 rozšiřovali z pustin Arabského poloostrova do Sýrie, Persie a do Egypta, který patřil dříve Byzanci; dále pak až do Mezopotámie, Indie a přes severní Afriku až na Iberský poloostrov. Postupně se stávali nejmočnější a nejbohatší říší středověku s vysokou kulturou a jednotným náboženstvím. V této době, kdy Evropa byla pohroužena do tmy středověku, přešla pochodeň antické vědy do zemí islámu. Učenci těchto zemí „udržovali její plamen“ a díky jim se v průběhu epochy renesance rozšířil do Evropy.

Arabský svět se tak zároveň stal deponitářem kultury řecké, perské a byzantské; přijal aristotelovský a Ptolemaiovův geocentrický systém kulatosti Země, schéma deferentu a epicyklu pro pohyby Slunce a planet, včetně do té doby zpracovaných astronomických tabulek. Avšak s rozvojem pozorovací

techniky, zpřesňováním výsledků měření dochází na různých místech k pokusům o zrealnění této teorie, její přiblížení skutečnosti. Někteří arabští filosofové se také pokoušeli adaptovat světový systém podle koránu s tvrzením, že hvězdy se pohybují mezi ptolemaiovskými sférami „jako ryby ve vodě“. Lunární kalendář, předepsaný Mohamedem vyžaduje přesnou znalost pohybu Měsíce tak, aby modlitby probíhaly na různých místech ve stanovenou dobu.

Tabit ibn Qurra (834–901) vytvořil teorii „Trepidaciones“, vysvětlující pohyb zvířetníku prostřednictvím idejí indických a chaldejských astronomů; na základě svých pozorování přinesl nový výklad rozmístění a pohybu planet prostřednictvím deváté sféry.

Rozvoj arabské vědy v Orientě včetně astronomie byl zahájen v Bagdádu za vlády chalífy *al-Mansúra* (léta 759–775), který inicioval a zabezpečil překlady děl řecké a perské astronomie, které získal od byzantského císaře; položil tak základy jejímu dalšímu rozvoji za vlády *al-Ma'múna* (léta 786–833).

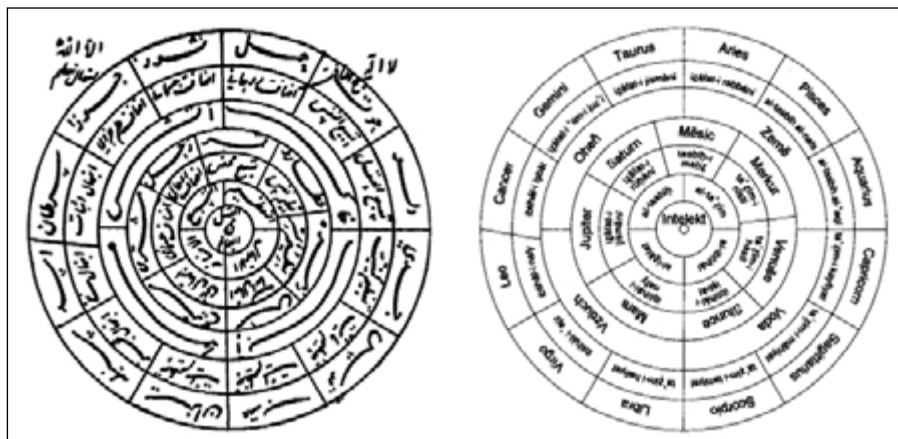


Mapa souhvězdí Persea a Andromedy podle astronoma Abd al Rachmana as-Súfi, X.století

Dochází k rozšiřování překladatelské školy, byl založen „Dům vědění“, kde bylo soustředěno mnoho významných vědců. Byly vybudovány astronomické observatoře v Bagdádu a v Damašku; zřizovány knihovny. *Isháq Ibn Hunayn* překládá vrcholné dílo antické astronomie – Ptolemaiova „Megalé Syntaxis“ pod názvem „Al-Magesto“ (al-madžisti), tj. „Největší dílo“ kde je mj. uveden seznam více než 1000 hvězd (jeho první latinský výtisk vyšel v roce 1515, arabský přepis z roku 827 je v petrohradské knihovně). *As-Súfi* (902–986) korigoval původní data Ptolemaiova hvězdného katalogu o precesi a tím jej adaptoval na tehdejší epochu.

Ibrahím al-Fazáří přeložil indickou kolekci děl o astronomii; okolo roku 800 byl dokončen překlad dalšího díla – „Aryabhatiya“, obsahující tabulky planetárních pohybů. Astronom *Džábir ibn Dinán Battání* (Albatagnius, 858–929) se pokusil o zdokonalení Ptolemaiovy soustavy; především ale zavádí do astronomie trigonometrii; první objevil pohyb slunečního apogea vzhledem ke stálícím, zkontroloval délku roku a zdokonalil výpočet bodu rovnodennosti.

Ibn Síná (Avicenna, 980–1037) připouští reálnou existenci Aristotelových sfér jako



Vesmírný intelekt „tvořivosti“ představující zároveň strukturu Vesmíru

Ing. Drahomír Dušátko, CSc. (*1934) vystudoval Vojenskou akademii v Brně, obor geodézie. Zabývá se topografickým mapováním, geodetickými a gravimetrickými měřeními v Hlavním úřadu vojenské geografie. Zajímá se o historii geodézie a dějiny Recka a Španělska.

živých bytostí s duší, která jim dovoluje pohyb podle vlastní vůle: „Všechny stvořené bytosti jsou obdařeny ... tvořivostí podle stanoveného pořádku a hierarchie.“ Uznává oněch devět sfér, ale připojuje desátou sféru, která představuje intelekt, nehmotnou duši – sublunární svět. Každá sféra má své jméno, vystihující její místo a poslání; např. první je sféra hvězd nejbližších, druhá pevných hvězd, třetí je Saturnova, čtvrtá Jupiterova, pátá Marsu, šestá Slunce, následují sféra Venuše, Merkura, Měsíce a sublunární bez nebeského tělesa, která však vládne světu pod sférou Měsíce. Pro pohyb hvězd v těchto sférách přijímá tři možnosti – první, že jsou sféry pohyblivé a nesou pevné hvězdy; druhá – sféry jsou nehybné s pohyblivými se hvězdami; třetí pak představuje kombinaci těchto dvou možností.

Generační druh Avicenny, *al-Bírúní* ve svém spise „Klíč k astronomii“ vyslovil 500 let před Koperníkem (1473–1543) hypotézu heliocentrického uspořádání tehdy známého planetárního světa a domněnku o evolučním vývoji a o přirozeném výběru. Od něho pochází geniální myšlenka: „Bytí prochází procesem vývoje a proměn – v tom tkví síla přírody“. Rozvoj astronomie v islámských zemích podnítily dvě skutečnosti. Jednou z nich byla zeměpisná blízkost k oblastem, kde antická věda dosáhla svého rozšíření v souvislosti s projevy přirozené snášenlivosti ve vztahu k vědcům z jiných zemí. Druhou skutečností byla spjatost s muslimskými obřady, které stavěly před matematickou astronomii řadu úloh, svou podstatou spjatých s výpočty času a určování azimutů. Řešením těchto úloh se muslimští vědci dostali daleko za rámec matematických metod starých Řeků. Jejich výsledky, zvláště v trigonometrii sehrály důležitou úlohu při formování evropské astronomie epochy rene-

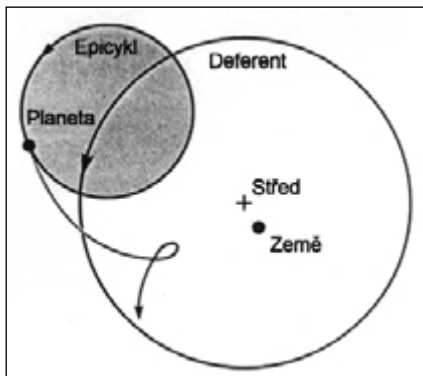


Schéma drah planet po epicyklech a deferentech

sance. Již od IX. století se rychle rozvíjela sférická trigonometrie. Učenci islámských zemí vynalezli jednoduché rovnice sférické trigonometrie, např. sinovu větu, které umožňovaly převést řešení sférických trojúhelníků na rychlou a jednoduchou proceduru.

V důsledku následných tureckých vpádů a dynastických rozporů v Bagdádu XI. století začíná úpadek arabské vědy a kultury na Blízkém východě. Těžiště arabské kultury se přesouvá z Bagdádu do Córdoba, do al-Andalúsu, hispánské Andalusie, konkrétně do cordobského olmeyovského emirátu. Dochází k tomu za vlády *Abderrahmána III.* a *al-Hakama II.*, kdy je zahájena epocha rozkvětu tohoto města ve smyslu politickém, vojenském a také vědeckém.

Hispánsko-arabští astronomové se pokoušeli ve svých studiích vylepšit koncepci „Světa“, avšak vždy se opírali o teorie velkých antických filosofů, zvláště o Aristotela. Cíl však zůstával; zdokonalovali přístroje a pozorovací metody a vypracovali pak úplné a přesné astronomické tabulky, které byly využívány po dlouhá století. Mimořádného rozšíření po Evropě se dočkal Averroesův „Komentář“ k dílu Aristotela. Jakkoli byl sám jeho velkým obdivovatelem, avšak aby mohl vysvětlit přímé a retrogradní pohyby planet, zavedl pro každou z nich sféry s odlišným směrem rotací okolo různých os – bez vysvětlení variací vzdáleností. Zachoval samozřejmě Aristotelovo pojetí člověka jako vrchol všeho Tvoření, jako středu Vesmíru. Pro přední astronomy-praktiky a filozofy arabského Španělska však bylo velmi obtížné přijmout reálnou existenci Ptolemaiova systému.

Dalším příspěvkem ke studiu světového systému byla teorie astronoma *Ibn al-Haytama*, (Alhacén, 964–1039) obsažená v dílech „Souhrn astronomie“ a „Tvar vesmíru“. Podle něho je Země sférická a nehybná, umístěná ve středu Vesmíru a je obklopena vodou, vzduchem a ohněm. Za sférou ohně až ke hranicím Vesmíru pak existuje pátá substance, z které jsou složeny všechny hvězdy, jejíž charakteristickou vlastností je věčný kruhový pohyb. Tento svět je omezen další sférou, nejvyšší, která zahrnuje vše co existuje, avšak na sobě nenese žádnou hvězdu. Bezprostředně pod ní je sféra nehybných hvězd, která rotuje okolo světové osy od východu na západ a k tomuto pohybu strhuje sféry ostatních hvězd. Mezi sférou ohně a sférou pevných hvězd jsou umístěny sféry

jednotlivých planet, počínaje sférou Měsíce – dále pak sféry Merkura, Venuše, Slunce, Marsu, Jupitera a Saturnu.

Hispánsko-arabský filozof *Ibn al-Sid al-Batalyusi* (1052–1127) ve svém hlavním díle „Kniha kruhů“ uvádí, že Bůh je prvopočáteční příčinou tvoření. Hierarchie tvořivých substancí je taková, že bytosti nejbližší tomuto Bohu poskytují tvořivou inteligenci bytostem vzdáleným až nejbližším. Tato myšlenka je přenesena na známý systém nebeských sfér, které poskytují sublunární hmotnost především v elementárních formách – v zemi, vodě, vzduchu a ohni. Jako příspěvek k elementární formě se objevuje uskupení minerální; jejich spojením vzniká existenční forma rostlinná, dále pak živočišná a lidská, která je ze všech forem sublunárního světa nejdokonalejší. *Maimonidés* (1135–1204), ve svém díle „Průvodce zbloudilých“ sleduje doktrínu Aviceny; o Vesmíru předpokládá, že tvoří jednotu kde neexistuje prázdnota; avšak problémy nadlunárního světa jsou podle něho člověku nedostupné. *Abú Isháq al-Bitrúyí* již odmítá systém epicyklů a deferentů a navrhuje nový systém – „objevení tajemství pohybů světů“. Nedosahuje však souhlasu v pohybu jeho soustavy planet s výsledky pozorování, tak jako je tomu u Ptolemaia.

Arzaquielovo dílo „Pojednání o pohybu stálic“ studuje precesní pohyb ekvinoxia, který stanovil na 46“ za rok, dále pak v něm určuje sklon ekliptiky na 23°33' a 23°53'; jeho vysvětlení variace precese a sklonu ekliptiky je analogické Ibn Quarrovu. Také již v roce 1075 vyvodil, že oběžné dráhy planet jsou eliptické, nikoli kruhové. *Avempace* (Ibn Bayya, 1106–1136) ze Zaragozy uvažuje, že „existence epicyklů je nepřijatelná“. *Averroes* (Ibn Rušd, 1120–1198) je obdivovatel Ptolemaia; díky jeho překladům byl znám po celé Evropě. Sám k překladům Aristotelovy „Metafyziky“ uvádí, že „... existence epicyklů a excentrických sfér protřečí fyzikálním zákonům“ a rozvádí vlastní pojetí problému.

Arabské astronomické instrumentarium

Arabští astronomové převzali a technicky zdokonalili starověké astronomické pomůcky a přístroje. Nejznámější jsou: **Astroláb** – nejčastěji citovaný astronomický přístroj řeckého původu; je to závěsný kruh s dle-

ním ve stupňové míře, okolo jehož středu se otáčelo rameno se dvěma průzory. Na jeho zadní straně byly vyryty linie a kružnice, umožňující vyhledání hodinových úhlů speciálně vybraných hvězd, takže nebylo zapotřebí je počítat. Byl také využíván pro určování výšky hvězdy nad horizontem a pro příslušnou zeměpisnou šířku k určování poloh známých hvězd; existovala jeho plochá a kulová verze s možností výměn ploché desky při změnách zeměpisné šířky. **Armilární sféra** – přístroj pro znázorňování pohybů nebeských těles a poloh rovníku, ekliptiky, místního poledníku. **Kvadrant** – čtvrtina kruhu se stupňovým dělením se zákresem čar slunečních hodin; také pomůcka k určování svislých úhlů. **Alcora** (arabsky „sféra“) – na její ploše bylo zakresleno 48 souhvězdí vzhledem ke 12 znamením zvěrokruhu. **Lamina universal** – kruhová deska s grafy, základna astrolábu pro použití v různých zeměpisných šířkách. **Azarquielova azafea** – podle *az-Zarkalího*, zdokonalená konstrukce výměnné, ploché desky astrolábu v závislosti na zeměpisné šířce.

V arabském světě, za vlády osvěcenců chalífů *al-Mansura* a dále pak *al-Ma'múna* byly vybudovány astronomické observatoře v Bagdádu a v Damašku, které plnily astrologické požadavky panovníka a služebníků islámské víry sloužily k určování poloh hvězd a jejich studiu a také ke zpřesňování kalendáře. Známa je aktivita matematika, hvězdáře, filozofa a také vynikajícího básní-

ka *Omara Chajjána* (1048–1131), který od roku 1074 pracoval v Nišápúru, kde byla postavena astronomická observatoř. V roce 1079 uskutečnil reformu iránského slunečního kalendáře (při jeho používání dochází k chybě 1 dne za 5 000 let) a vydal také astronomické tabulky.

Za zmínku stojí také proslavená, velmi dobře technicky vybavená a rozměrná observatoř *mirzi Ulugh-béga* (1394–1440), *Timurova* vnuka v Samarkandu. Pro přesné určování výšek Slunce byl používán kvadrant o poloměru 20 m, který byl urovnán do poledníku observatoře a pevně zazděn. Přitom nebyl „kopírován“ Ptolemaios, polohy hvězd jeho katalogu byly opraveny o precesi. V době její činnosti aktivně probíhala astronomická pozorování a byly sestaveny astronomické tabulky – „zidž“ *Ulugh-béga*, které byly v Orientu velmi rozšířené. V západní Evropě byly dokonce známy díky publikaci J. Griwse z roku 1648.

V klášteře Ripoll u Gerony byly v roce 954 přeloženy z arabštiny do latiny některé knihy o konstrukci a použití astrolábu a posuvného kvadrantu. V těchto instrukcích byla zároveň zavedena arabštině odpovídající latinská terminologie, jako např. alhidáda, azimut, zenit, nadir, almukantarát.

Názory na tvar a rozměry Země

Arabové převzali řecké pojetí tvaru Země – nejdokonalejšího možného, tj. tvar koule.

Byly jim též známy výsledky určování jejího poloměru. Za vlády *al-Ma'múna*, druhého syna *Harúna al-Rašída* proběhlo v letech 827–830 stupňové měření k určení poloměru Země, které řídil astronom *Ibn Júnus*. V rovinném terénu severozápadně Bagdádu byla údajně změřena pozemská délka poledníku, odpovídající 1°22' zeměpisné šířky, které byly na jeho počátečním a koncovém bodě Rakka a Tadmor určeny astronomicky. Chyby v určení šířek jsou dnes udávány hodnotami +37' a +35'. Délkovou jednotkou byl tzv. „černý loket“; jedna arabská míle měla 400 loktů a pro 1° zeměpisné šířky na poledníku naměřili 56 a 2/3 arabské míle, což byl průměr z tehdy uznávaných hodnot. Vzhledem k tomu, že nebyl znám přesný rozměr těchto měř, uskutečnil německý geodet, prof. Jordan v roce 1874 pokus o stanovení délky arabského lokte s využitím jeho zachovaného údaje na sloupu pro měření výšky vody v Káhiře: 1 loket = 0,52 m, což znamená, že pak by byl poloměr roven 6 757 km. Toto arabské měření pro určení poloměru Země je historicky prvním stupňovým měřením. *Al-Chwárizmí* použil tento výsledek pro konstrukci své mapy světa; *al-Battání* (858–929) udává polohy základních sídlišť na Blízkém východě určené prostřednictvím trigonometrické sítě s prvky určenými z délek přesunů a astronomických pozorování. Nadále ovšem přetrvával problém určování zeměpisných délek; proto docházelo ve směru západ-východ ke značným kartografickým deformacím ve znázorňování tehdejšího světa.

Astronomické systémy a tabulky

Ptolemaiov systém deferentů a epicyklů umožňoval výpočet poloh různých planet v souladu s tehdy dosažitelnými výsledky pozorování a sestavení jejich výsledků do „astronomických“ tabulek. Astronom *al-Battání* uskutečnil na observatoři v městě Rakka v letech 877–919 velký počet pozorování, které po zpracování poskytly výsledky lišící se od Ptolemaiových. Hvězdář *Ibn Júnus* shrnuje pozorování ze dvou století a zpracuje v roce 1010 astronomické tabulky, které byly používány arabskými astronomy.

Podle pokynu emíra *al-Ma'múna* připravil *az-Zarkalí* (*Arzaquiel*, *Arzachel*; 1029–1087) z Toleda „Toledské tabulky“, nazvané podle toho, že byly zpracovány a vztaženy k toledskému poledníku. Pro jejich tvorbu použil mj. také pozorování ze Sicílie, „... uskuteč-



Univerzální astroláb, který je zároveň spojen s mechanickým kalendářem; jeho přední a zadní strana; byl zhotoven v letech 1221 až 1222 Muhammadem ibn Abí Bakrem al-Rašídím v Isthánu.



Ploché astroláb, vyobrazený v „Libro del Saber de Astronomía“ krále Alfonse X. Moudrého

něné Židem velmi zblhlým v astronomii a v matematických vědách“. Další středověcí astronomové dosvědčují, že tabulky nebyly dílem pouze Arzaquiela, nýbrž celé skupiny; mj. je v tabulkách vložena teorie vzestupného a sestupného uzlu, která silně ovlivnila evropskou astronomii.

V rámci činnosti překladatelské školy zreorganizované Alfonsem X. Moudrým ve městě „tří kultur“, v Toledu, kde byla nedaaleko tohoto města na ostrohu řeky Tajo astronomická observatoř a společně pracovali Arabové, Židé a křesťané, byly s velkou vážností a pečlivostí překládány, sepsány a redigovány knihy „Libros de Saber de Astronomía“ (Knihy znalostí o astronomii), kterých bylo celkem 14. Pracovali na nich mj. Arabové *Aben Alí*, *Avenvena* a přímo na astronomických tabulkách pak v letech 1258 až 1262 *Izaq ben Said* s *Judou ben Mosé*. V těchto tabulkách byla podle židovské tradice zavedena perioda precese 49 000 let a perioda trepidace 7 000 let. Použité „Toledské tabulky“ přepracované na „Tabulky Alfonsovy“, měly již zaktualizované údaje, které byly vztaženy k toledskému poledníku a k datu 1. 1. 1252, kdy byl Alfonso X. prohlášen kastilským králem. Alfonsínské tabulky byly v různých evropských zemích opisovány a později vztahovány k časově aktuálním datům. Např. i v astronomickém kodexu Václava IV., krále českého (1363–1419) jsou na ně uváděny odkazy a celé partie těchto tabulek byly převzaty.

Astronom *Georg Peurbach* na základě výsledků svých pozorování zpřesnil tyto tabulky; mj. zpřesnil také trigonometrické tab-

ulky *Almagestu* aj. *Regiomontanus* – *Johann Mueller* přebírá od Arabů tangens a sinovou větu, vydal další astronomické tabulky pro léta 1474–1560, které byly využívány při objevných zaoceánských plavbách. Samotné Alfonsínské tabulky byly nahrazeny až počátkem XVII. století, po přijetí heliocentrické Koperníkovy teorie, pražskými „Rudolfínskými tabulkami“.

V Orientě dal mongolský vládce *Chulaguil-čan*, vnuk *Čingizchána*, postavit na svou dobu velmi dobře technicky vybavenou a rozsáhlou, universální observatoř v Maragu. Velké prostředky byly investovány do její knihovny (měla 400 000 svazků); observatoř měla technické vybavení s pevným kvadrantem o poloměru 3,25 m. Po 12 letech nepřetržitých pozorování planet byly *Nasreddin* *al-Túsím* vydány „Ilchanské tabulky“.

Šíření arabské astronomie v Evropě

Astronomové epochy renesance studovali díla a překlady islámských učenců, kteří vlastně zachránili a rozvinuli výsledky dosažené v klasickém Řecku. Na základě jedné z verzí ještě „Toledských tabulek“ bylo v roce 1426 vyhotoveno *Konrádem z Diffenbachu* schéma poloh míst v Evropě a severní Africe; obdobně postupovala tzv. katalánská kartografie (1450), *Waldsperger* (1448), *Borgia*, *Fra Mauro* a další. Jako příklad lze také uvést Koperníkovy poznámky k Alfonsínským tabulkám.

Díky rozvoji knihtisku byly zachovány také práce *al-Battáního* a tím zpřístupněny Koperníkovi a jeho současníkům. V traktátu „O oběhu nebeských těles“ cituje tento slavný polský astronom XVI. století nejméně 23× svého arabského předchůdce z IX. století.

Ohlasy arabské astronomie v českých zemích

Od počátku 13. století patřilo k tradicím pražského dvora shromažďovat astronomické rukopisy; jádro knihovny vzniklo patrně již za vlády Přemysla Otakara II., spjatého příbuzenskými svazky i s Alfonsem X. Kastilským. Po smrti Alfonse X. Moudrého odešli někteří kastilští astronomové na různá místa v Evropě; někteří dokonce i do Prahy na dvůr Přemysla Otakara II., který byl Alfonsovi X. bratrancem. Dokladem zájmu českého prostředí o astronomii v době vlády Václava II.

jsou dodnes zachované astronomické a komputistické rukopisy z konce XIII. století. Je doloženo, že např. *Álvaro de Oviedo*, původem z Toleda, působil v letech 1290–1305 v Praze ve službách českého krále Václava II. Alfonsínské tabulky nacházíme i v dvorské knihovně českého krále Václava IV., kde je nalézáme jako součást bohatě umělecky zdobeného „Vídeňského sborníku“. V působení a díle Křišťana z Prachatic (rozpracování *Pseudo-Másá'alláha*, používání arabských čísel, studium arabských autorů) lze identifikovat vliv arabské astronomie na tehdejší vzdělance Evropy XV. století.

Závěr

Ohlasy úspěšnosti středověké astronomie islámského světa doznívají až po naše dny. Termíny „zenit“, „azimut“, „algebra“ nebo pojmenování hvězd „letního trojúhelníku“ – Vega, Altair, Daneb a jména dalších asi 220 hvězd – jsou dávné názvy arabského původu. Pojmenování hvězdných objektů je jedním z nejvýznamnějších odkazů arabské astronomie dnešku. Betelgeuze, Rigel, Vega, Aldebaran, Fomalhaut – to jsou příklady jmen – názvů hvězd které mají buď přímý arabský původ anebo jsou arabskými transkripcemi řeckých názvů, zavedených Ptolemaiem.

Jakkoli je historie zájmu arabských učenců o řeckou astronomii poměrně dobře známa, dějiny zdokonalování této vědy Araby a historie jejího následného návratu do středověkého latinizujícího Západu se počíná vyjasňovat až v současné době. Historie samotné astronomie, její vrcholná období i pronásledování jejích osobností jsou zároveň vždy charakteristikami úrovně dané etapy vývoje lidské civilizace a míry jejího humanismu.



Král Alfonso X. Moudrý seznamuje své pomocníky se svými projekty (vyobrazení pochází z „Cantigas de Santa María“)