



Kdy vládl Chammurapi aneb význam fyziky při datování starověkého Blízkého východu

Jiří Kohout¹, Department of Engineering Physics, École Polytechnique de Montréal, Quebec, Canada

Článek je věnován významu fyziky (konkrétně astronomie a radiokarbonové metody) pro datování starověkého Blízkého východu. Je zdůrazněn význam zatmění Slunce pozorovaného v Ninive v roce 763 pro určení datování 1. tisíciletí před naším letopočtem (př. n. l.). Jsou rovněž prezentovány různé interpretace tabulek Ammi-Sadukových pozorování Venuše vedoucí k různým datováním pro první polovinu 2. tisíciletí př. n. l. V závěrečné části příspěvku jsou ilustrována a stručně diskutována omezení radiokarbonové metody při stanovování správného datování.

Úvod

Otázka uvedená v názvu tohoto příspěvku na první pohled nepůsobí příliš zajímavě a ani není patrné, jak by měla souviset s fyzikou. Pokud chci vědět, kdy vládl babylonský král a autor slavného zákoníku Chammurapi, stačí se podívat do učebnice dějepisu [1], nebo třeba na českou Wikipedii [2] a dovím se, že jeho vláda spadá do let 1792–1750 před naším letopočtem (př. n. l.). Tak jsem se to učil před lety ve škole a zdánlivě není důvod si myslet, že by to mělo být jinak. Pokud se však podívám třeba na anglickou Wikipedii [3] (zde musím ovšem hledat pod heslem Hammurabi), překvapivě zjistím, že jsou u doby vlády tohoto krále uvedeny údaje dva – vedle již zmíněného 1792–1750 př. n. l. ještě 1728–1686 př. n. l. Někdo by mohl toto překvapivé zjištění přisoudit nespolehlivosti Wikipedie jako informačního zdroje a dále se jím nezábývat. Ukazuje se však, že uvedení více možností zcela odpovídá současnému stavu výzkumu v této oblasti a je (s patřičným komentářem) dokonce mnohem korektnější, než uvádění jediného časového rozpětí, které by mělo být bráno jako nezpochybnitelný fakt. Proč tomu tak vlastně je a jak to celé souvisí s fyzikou?



Obr. 1 – starobabylonský král Chammurapi modlí se k bohu slunce a spravedlnosti Šamašovi, jenž mu diktuje proslulý zákoník

Zatmění Slunce v roce 763 př. n. l.

Při diskuzi o tomto tématu si je samozřejmě nutné položit otázku, jak je vlastně období vlády Chammurapiho (či jiných panovníků v témže období a téže oblasti) určováno. Obecně je možné při datování využít celou řadu metod, z nichž některé podrobněji rozebereme v další části tohoto článku. Ideální samozřejmě je, když mají badatelé dostatečně spolehlivé písemné prameny (kroniky, seznamy králů apod.), které jim umožňují odpočítávat roky od nějaké události, o jejímž datování nemůže být pochyb (například proto, že došlo k nějaké nezaměnitelné události opakující se pouze jednou za velmi dlouhou dobu). U chronologie Blízkého východu v 1. tisíciletí před naším letopočtem takový pevný bod skutečně existuje. Jedná se o zatmění Slunce, k němuž došlo 15. června 763 př. n. l. Toto zatmění bylo popsáno na tabulce objevené ve starověkém městě Ninive a historici jej na základě řady dalších důkazů akceptují jako skutečně spolehlivou informaci umožňující provádět datování.

Vedle informace o zatmění mají historici k dispozici spolehlivé seznamy asyrských králů, kde je zaznamenáno pořadí panovníků a doba jejich vlády. Tyto seznamy umožňují bez problému stanovit dobu vlády jednotlivých panovníků až do 12. století př. n. l. Rovněž je možné provést synchronizaci událostí v Asýrii s událostmi v Babylonii a jiných tehdejších místech Blízkého východu a určit tak i dobu vlády panovníků mimo

¹ jiri.kohout@polymtl.ca

samotnou Asyrskou říši. Zhruba do 12. století př. n. l. se tedy zdá být vše v pořádku. Pak však nastává zásadní problém. Seznamy králů již dále nejsou příliš spolehlivé či dokonce vůbec nepokračují. Není zde samozřejmě možné (a vzhledem k zaměření tohoto článku to není ani podstatné) diskutovat příčiny tohoto stavu a události, k nimž došlo na Blízkém východě kolem poloviny 2. tisíciletí př. n. l. Důležité však je, že datování metodou „odpočítávání od roku 763 př. n. l.“ již není možné a pro určení data dřívějších událostí je třeba najít nějaký další pevný bod.

Ammi-Sadukova pozorování Venuše

A opět se dostává ke slovu astronomie. Mezi tisíci destiček s nejrůznějšími texty objevenými v Babylonii se podařilo najít rovněž destičku se záznamy z pozorování planety Venuše, jež byla realizována za vlády předposledního krále babylonské 1. dynastie Ammi-Saduky. Na tuto destičku bylo po dobu 21 let zaznamenáno, kdy se Venuše v daném roce poprvé objevila nad východním horizontem před východem Slunce (tzv. *heliacal rising*) a to, kdy byla vidět naposledy po západu Slunce. Pokud by se z těchto údajů podařilo jednoznačně stanovit, ve kterém roce pozorování Venuše započala, byla by situace zachráněna. Pro uvedené období jsou totiž již opět k dispozici podle všeho spolehlivé seznamy babylonských králů, které by umožnily metodou odpočítávání určit datování na dalších mnoho set let dozadu (samozřejmě za předpokladu, že příslušná pozorování Venuše byla učiněna skutečně za krále Ammi-Saduky a není zde nějaká další, dosud nezjištěná, zrada). Díky tomu by bylo rovněž možné jednoznačně stanovit dobu vlády krále Chammurapiho. Problém však je v tom, že pozorované východy a západy Venuše není možné (na rozdíl od výše diskutovaného zatmění Slunce) jednoznačně přiřadit ke konkrétnímu roku. Díky určité periodicitě pohybu Venuše je však možné řadu možností vyloučit. Podrobné zkoumání beroucí do úvahy celou řadu faktorů pak ukazuje (podrobnosti například v [4]), že 1. rok vlády Ammi-Saduky mohl být v letech 1701, 1645, 1581, 1549 či 1517 př. n. l. (všimněte si, že jednotlivé údaje mezi sebou mají vždy rozestup odpovídající nějakému násobku čísla 8). Dřívější či pozdější možnosti nejsou zpravidla připouštěny, protože by byly v rozporu s dalšími (už nikoliv astronomickými) poznatky z této oblasti. V závislosti na tom, který z uvedených letopočtů je ten správný, se pochopitelně posouvá rovněž doba vlády krále Chammurapiho stejně jako další významné historické události. Některé z nich jsou uvedeny pro jednotlivá datování (chronologie) v tab. 1.

Chronologie	Dlouhá	Střední	Krátká	Ultra-krátká	Super-krátká
Vláda Chammurapiho	1848–1806	1792–1750	1728–1686	1696–1654	1664–1622
První rok vlády Ammi-Saduky	1701	1645	1581	1549	1517
Dobytí Babylonu Chetity	1651	1595	1531	1499	1467

Tab. 1 – významné historické události podle různých datování; pozn.: všechny letopočty jsou před naším letopočtem

O tom, která z uvedených možností je ta správná, se v posledních desetiletích vedou značné spory, jež se mnohdy neobjedou ani bez hrubých urážek mezi ctihodnými historiky a archeology. Každá z chronologií má své zastánce, a ačkoliv se v některých obdobích přiklání většina odborné veřejnosti k té či oné možnosti, jednoznačnou a trvalou podporu si, alespoň zatím, nezískala žádná z nich. V polovině 20. století byla velmi populární krátká chronologie (důkazem je například vynikající kniha o archeologii Bohové, hroby a učenci [5] napsaná C.W.Ceramem v roce 1949, užívající právě tuto chronologii), ve 2. polovině převažovala v současných českých učebnicích uváděná chronologie střední a v současné době se řada odborníků přiklání zpět ke chrono-



logii krátké. Ale i zbylé možnosti mají své přesvědčené stoupence, kteří v odborných časopisech přinášejí další a další argumenty ve prospěch té své teorie.

Přirozená otázka je, zda jsou tabulky pozorování Venuše z doby vlády Ammi-Saduky skutečně jediným astronomickým poznatkem, který lze využít při datování příslušného období. Nenašla by se mezi spoustou materiálu objeveného v Babylonii a přilehlých oblastech nějaká zmínka například o zatmění Slunce a Měsíce, která by umožnila získat jistější informace, než je pozorování Venuše? Skutečně se podařilo objevit dokumenty popisující zatmění v Uru (zhruba 400 let před pozorováním Venuše) a v Akkadu (ještě dalších téměř 300 let před zatměním v Uru). Bohužel se tato zatmění i vzhledem k jejich poněkud matoucímu popisu v příslušných tabulkách (viz [4]) nepodařilo jednoznačně přiřadit ke konkrétnímu roku, a tak v současné době hrají roli „pouze“ dalších argumentů, jež zastánci různých chronologií interpretují zcela protichůdným způsobem. Je mimo možnosti tohoto textu (a i mimo schopnosti jeho autora) analyzovat a hodnotit na první pohled zpravidla velmi přesvědčivou argumentaci různých autorů podporujících jednotlivé teorie. Omezme se proto na konstatování, že debata na toto téma stále probíhá a podívejme se na to, jakým způsobem k ní může přispět dobře známá radiokarbonová metoda.

Radiokarbonová metoda a její omezení

Zatím jsme se bavili pouze o využití astronomických poznatků při datování. Nemohla by však být fyzika v daném tématu užitečná i jiným způsobem? Již od konce 40. let 20. století je přeci k dispozici radiokarbonová metoda využívající rozpad izotopu uhlíku ^{14}C , který se rozpadá β -rozpadem na dusík ^{14}N za emitování elektronu a antineutrína. Poločas rozpadu je v tomto případě $T = 5730$ let. Izotop ^{14}C vzniká srážkami rychlých neutronů (vytvořených při kolizích kosmického záření v atmosféře) s dusíkem podle rovnice $^{14}\text{N} + n \rightarrow ^{14}\text{C} + p$. Během života jakéhokoliv organismu se v něm udržuje stabilní hladina tohoto izotopu daná jeho zastoupením v atmosféře (tj. existuje rovnováha mezi rozpadem a absorpcí z okolního prostředí). Jakmile však organismus odumře, přestane absorbovat tento izotop, a jeho koncentrace se tudíž začne snižovat. V důsledku toho začne klesat i aktivita zářiče A (ta je totiž dána součinem rozpadové konstanty λ a počtu atomů ve vzorku N), přičemž tento pokles lze v závislosti na čase t popsat v souladu s rozpadovým zákonem vztahem

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot t}.$$

Při známé počáteční aktivitě A_0 (v okamžiku odumření) a poločasu rozpadu T pak je možné z naměřené aktuální aktivity A_a stanovit dobu τ uplynulou od odumření organismu (tj. stáří vzorku) pomocí vztahu

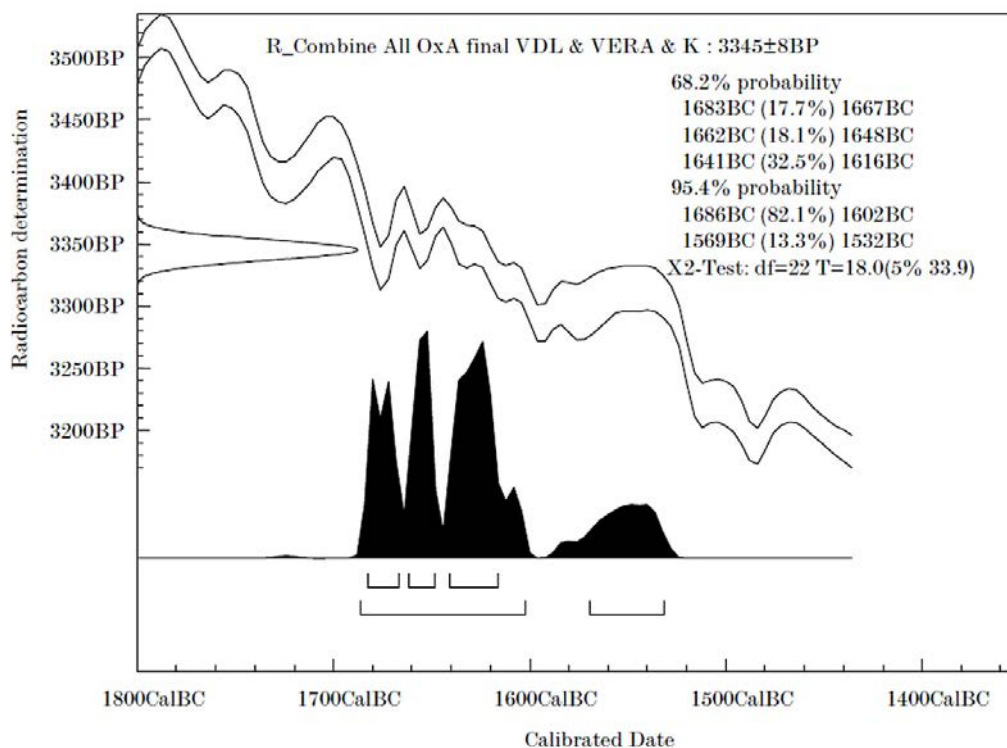
$$\tau = \frac{\ln A_0}{\ln A_a} \cdot T.$$

Radiokarbonová metoda byla v historii a archeologii využita mnohokrát a mnohdy s velmi uspokojivými výsledky. Její podrobný popis a vybrané historicko-archeologické aplikace jsou populárně naučnou formou podány například v [6]. Odborníci zabývající se datováním Blízkého východu na tuto metodu samozřejmě nezapomněli a jí získané poznatky občas uplatňují jako podpůrné argumenty pro tu či onu teorii. Jednoznačnou odpověď na to, která chronologie je ta správná, však zatím radiokarbonová metoda dát nedokázala. Důvodů pro to je hned několik, zde se však zaměříme především na jeden, jenž pravděpodobně hraje nejvýznamnější roli.

Autor radiokarbonové metody Willard Libby se původně domníval, že obsah izotopu ^{14}C v atmosféře je dlouhodobě neměnný. Stačí tudíž znát, jaká je aktivita odpovídající danému živému vzorku v současné době, a pak změřit aktivitu studovaného vzorku. Pomocí rozpadového zákona pak můžeme rovnou stanovit stáří vzorku (přesněji dobu, která uplynula od okamžiku, kdy vzorek přestal přijímat izotop ^{14}C z atmosféry). Vzhledem k velmi malým aktivitám záření při stanovení stáří samozřejmě nastává určitá chyba, ale principiálně zde není problém.

Postupem času se však ukázalo, že radiokarbonová metoda užitá za uvedeného předpokladu neměnnosti obsahu izotopu ^{14}C vede k výrazně chybným výsledkům. Příčinou je to, že koncentrace izotopu ^{14}C se bohužel v čase mění. Nejdramatičtější změny proběhly na počátku 60. let 20. století v souvislosti s testováním jaderných zbraní, ale k nezanedbatelným fluktuacím souvisejícím například se změnami magnetického pole Země (viz např. [6]) docházelo i v mnohem dřívější minulosti. Bylo tudíž nutné provést kalibraci na základě srovnání radiokarbonové metody s jinými metodami datování (typicky dendrochronologií – určováním stáří na základě letokruhů). Během let se skutečně podařilo získat kalibrační křivku umožňující převádět stáří určené radiokarbonovou metodou (to je laboratořemi uváděno typicky pomocí písmen BP a udává stáří počítané od roku 1950) na stáří skutečné a to až do doby před zhruba 9000 lety. Fundamentální problém spočívá v tom, že kalibrační křivka není vždy monotónní funkcí. Může se tak docela dobře stát, že jedna hodnota určená radiokarbonovou metodou odpovídá více různým skutečným hodnotám.

Uveďme konkrétní příklad. Na obrázku převzatém z [7] je popsáno určování stáří vzorku nalezeného v obci Akrotiri na ostrově Théra (území dnešního Řecka). Tento vzorek přitom pochází zhruba z období, jímž se zde zabýváme. Samotná radiokarbonová metoda vedla k určení věku 3345 BP (což by bez provedení kalibrace odpovídalo roku 1395 př. n. l.). Směrodatná odchylka byla pouhých 8 let (to je samo o sobě výborný výsledek, zpravidla bývá tato odchylka větší) a rozložení chyb se předpokládá podle Gaussovy křivky. Díky tomu by v případě bez nutnosti kalibrace bylo možné určit věk vzorku s přesností plus minus 16 let (dvě směrodatné odchylky) s pravděpodobností více než 95 %. Taková přesnost (na více než 95 % by vzorek pocházel z období 1411–1379 př. n. l.) by byla velmi dobrá a u vzorků z Blízkého východu by mohla velmi výrazně napomoci k rozhodnutí o tom, která chronologie je ta pravá.



Obr. 2 – ilustrace datování vzorku pomocí radiokarbonové metody s uvážením kalibrace, (převzato z [7])

Podívejme se však, co s výsledky udělala nezbytně nutná kalibrace. Vzhledem k nemonotónnosti kalibrační křivky (ve skutečnosti má i tato křivka určitou chybu, a proto jsou na obrázku hned dvě kalibrační křivky odpovídající příslušné horní a dolní mezi) se dostáváme do situace, kdy vzorek s pravděpodobností 82 %



pochází z období 1686–1602 př. n. l., ovšem s pravděpodobností více než 13 % také může pocházet z období 1569–1532 př. n. l. Rozpětí, které musíme zahrnout, abychom dostali zpravidla uvažovanou 95% pravděpodobnost, je tak najednou delší než 150 let (od 1686 př. n. l. do 1532 př. n. l.)! Rozdíl mezi dlouhou a super-krátkou chronologií (viz Tabulka 1) však není o mnoho větší, když činí 184 let.

Ačkoliv je uvedený příklad pouze ilustrativní a pro jeho úplné pochopení jsou nutné jisté znalosti z matematické statistiky, dává nám poměrně přesnou představu o tom, proč radiokarbonová metoda ve své současné podobě nedokáže dát jasnou odpověď na to, která z uvažovaných chronologií je ta správná. Je do jisté míry směla, že zrovna v uvažovaném období je kalibrační křivka výrazně nemonotónní a tudíž chyba této metody podstatně narůstá. Můžeme však doufat, že s dalším rozvojem radiokarbonové metody a zvyšováním její přesnosti se podaří získat data, která umožní přinejmenším omezit počet možností, jež by při datování 1. poloviny 2. tisíciletí na Blízkém východě přicházely do úvahy.

Závěr

Cílem tohoto článku je ukázat, jak může být fyzika důležitá a užitečná i v disciplínách jako je historie či archeologie. Je však vidět, že při jejím využití musíme vnímat i problémy související například s (ne)presností dané metody. Zároveň se snažím poukázat na to, že některé události v historii mohou být podstatně méně jednoznačné, než by se někdy mohlo zdát z hodin dějepisu na středních a základních školách. Určitě neaspíruji na to podat ucelený přehled o nesmírně komplikovaném a stále hojně diskutovaném datování událostí na Blízkém východě v 1. polovině 2. tisíciletí před naším letopočtem. Pro jednoduchost jsem dokonce úplně vypustil například informace o problematice související s kalendáři užívanými v tomto období, jež jsou pro správnou interpretaci astronomických poznatků velmi důležité a vydaly by přinejmenším na další samostatný článek. I tak věřím, že tento příspěvek může být pro učitele inspirující z hlediska rozvíjení fyzikálního myšlení studentů i mezipředmětových souvislostí.

Seznam literatury

- [1] POPELKA, Miroslav, VÁLKOVÁ, Veronika. *Dějepis I pro gymnázia a střední školy: pravěk a starověk*. 1. vyd. Praha: SPN, 2004. ISBN 80-7235-145-1
- [2] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Chammurapi> [online] [cit. 2014-07-09].
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Hammurabi> [online] [cit. 2014-07-09].
- [4] HUBER, Peter. *Astronomy and Ancient Chronology*. In *Akkadica* 119-120 (2000), pp. 159-176. ISSN 1378-5087
- [5] CERAM, C.W. *Bohové, hroby a učenci*. Praha: Beta books, 1994. (přeloženo z originálu Götter, Gräber und Gelehrte, 1949). ISBN: 80-901703-4-X.
- [6] KUPKA, Jan. *Příklady využití radiouhlikové metody*. Bakalářská práce obhájená na FPE ZČU v roce 2009.
- [7] MANNING, Sturt. *Clarifying the high v. low Aegean/Cypriot chronology for the mid second millennium BC: Assessing the evidence, interpretative frameworks, and current state of the debate*. In Bietak, M; Czerny, E. *The Synchronisation of Civilisations in the Eastern Mediterranean in the Second Millennium B.C. III. Proceedings of the SCIEEM 2000 – 2nd EuroConference, Vienna 28th of May – 1st of June 2003*. Vienna, Austria. pp. 101–137. ISBN: 978-3-7001-3527-2.