

OBÁVANÝ NEPŘÍTEL, ČI INSPIRATIVNÍ POMOCNÍK?

PETR DISTLER^{a,b}

^a Katedra jaderné chemie, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT, Břehová 7, 115 19 Praha 1;

^b Gymnázium ALTIS, Dopplerova 351, 109 00 Praha 10 petr.distler@jfifi.cvut.cz

Došlo 15.2.19, přijato 25.2.19.

Klíčová slova: periodická soustava prvků, D. I. Mendělejev, výuka chemie, mezipředmětové vztahy

Letos slaví 150. narozeniny, stále se rozrůstá a nejčastěji se s ní setkáme v hodinách chemie. Tušíte, oč se jedná? Ano, je to periodická soustava prvků. Některé prvky nás provázejí již stovky až tisíce let a ovlivňují náš každodenní život. A není proto škoda, že se tato kouzelná tabulka a informace v ní uvedené využívají povětšinou pouze v chemii bez přesahu do dalších předmětů? A není zároveň škoda, že ji žáci základních i středních škol vnímají spíše jako obávaného nepřítele, než užitečného pomocníka? Pojdme se společně podívat na perspektivy využití periodické soustavy prvků napříč různými vzdělávacími oblastmi.

Organizace spojených národů (OSN) vyhlásila rok 2019 mezinárodním rokem periodické soustavy prvků s cílem poukázat na důležitou roli vědy (jelikož právě čtete *Chemické listy*, tak samozřejmě s důrazem na chemii) v každodenním životě. Zároveň je letošní rok chápán jako příležitost představit aktuální vědecké objevy i současné

výzvy. Za chemii se týkají zejména životního prostředí, energetiky, průmyslu, zemědělství, zdravotnictví a vzdělávání. OSN i její mezinárodní odborné agentury (např. UNESCO) pořádají různé akce pro veřejnost i školy, aby se nad tímto tématem mohla zamyslet co největší část obyvatel¹.

A přemýšlet před 150 lety musel i Dmitrij Ivanovič Mendělejev, když uspořádal 63 známých prvků do periodické tabulky v podobě, jak ji známe dnes. A navíc velmi přesně předpověděl vlastnosti tři ještě neobjevených prvků. Ukázkou navržené tabulky můžeme vidět na obr. 1. Prvky rozdělil do 8 skupin a 5 period, a každá perioda se skládala ze dvou řad². Za svůj objev získal řadu ocenění i členství v prestižních vědeckých spolcích, avšak nejznámější vědecké ocenění, Nobelovu cenu, nezískal. Na jeho počest je pojmenován prvek mendelevium s protonovým číslem 101.

Vraťme se nyní zpět do školních lavic, a to do hodin dějepisu. Začneme pravěkem, kterému se věnuje zpravidla velké množství času. V pravěku lidstvo znalo 11 prvků, které jsou vyznačeny na obr. 2 společně s prvky objevenými ve středověku. Proč se jednalo právě o tyto prvky? Jaké měly vlastnosti, že je člověk objevil a používal? A v čem byl hlavní přínos bronzu před vlastnostmi samotné mědi nebo cínu? To, že chemické prvky hrály důležitou roli, dokládá mj. fakt, že po době kamenné nastala doba bronzová a doba železná. Využití slitiny mědi a cínu a následně železa změnilo fungování celé společnosti. Používání bronzu bylo provázáno zejména sociální diferenciací – společnost se strukturovala a větší část obyvatel se od zemědělství přesunula k řemeslům. S tím souvisí i přístup k surovinám, technikám jejich zpracování a následného využití, ať už pro svůj vlastní užitek, či ke smění. Doba železná pak umožnila další rozvoj zbraní a nástrojů, v důsledku čehož nastaly velké změny např. v zemědělství³.

Na obr. 3 je zvýrazněno 63 prvků podle

Естественная система элементов Д. Менделѣева.

Группа I	Группа II	Группа III	Группа IV	Группа V	Группа VI	Группа VII	Группа VIII (переходная)	Группа IX	Группа X
R'O	R'O или RO	R'O	R'O или RO	R'O	R'O или RO	R'O	R'O или RO	R'O или RO	HX
H=1 H ⁺ , H ⁻ , HCl, H ⁺ N, H ⁺ C, ROH	Be=9,4 BeCl ₂ , BeO, Be ⁺ Al ⁺ Si ⁺ O ⁻	B=11 BCl ₃ , B ⁺ O ⁻ , BN, B ⁺ Na ⁺ O ⁻ , BF ₃	C=12 CH ₄ , C ⁺ H ⁺ ... ⁺ , CO, CO ₂ , CO ⁺ M ⁻	N=14 NH ₃ , NH ₄ ⁺ Cl ⁻ , N ₂ O, NO, NO ⁺ , M ⁻ CN, M ⁻	O=16 OH ⁺ O ⁻ , O ₂ , O ⁺ O ⁻ , OM ⁺ R ⁻ , H ₂ O ⁺	F=19 FH, BF ₃ , SF ₆ , CaF ₂ , KF, KHF ₂	Cl=35,5 CH ₃ Cl, CCl ₄ , ClO ₂ , Cl ⁻ , HCl, AgCl	Br=80 Br ⁻ , HBr, Br ₂ , Br ⁻ M, Br ⁻ Ag ⁺	I=127 HI, I ₂ , AgI, HIO ₃ , HIO ₄ , HgI ₂ , KI
Li=7 LiCl, LiOH, Li ⁺ O ⁻ , LiX, Li ⁺ CO ₃ ⁻	Mg=24 MgCl ₂ , MgO, MgCO ₃ , MgSO ₄ , Mg ⁺ NH ⁺ PO ₄	Al=27,3 AlCl ₃ , Al ⁺ O ⁻ , KAlSi ⁺ O ₃ , H ₂ SiO ₃	Si=28 SiH ₄ , SiCl ₄ , SiH ₃ F ⁺ , P ⁺ O ⁻ , CO ⁺ Si ⁻ , KAlSi ⁺ O ₃ , CaSiO ₃	P=31 PH ₃ , PCl ₃ , PCl ₅ , P ⁺ O ⁻ , Ca ⁺ P ⁻ , VOCl ₃ , V ⁺ O ⁻ , V ₂ O ₅ , Pb ⁺ V ⁻ O ⁻ , V ₂ O ₅	S=32 SH ₂ , S ⁺ M ⁻ S ⁻ M ⁺ , SO ₂ , SO ₃ , S ⁺ Ba ⁻ S ⁻ O ₄	Se=78 SeH ₂ , SeCl ₄ , SeO ₂ , SeO ₃ , Se ⁺ M ⁻ O ⁻	Fe=56 Fe ⁺ O ⁻ , Fe ⁺ S ⁻ , Fe ⁺ O ⁻ , Fe ⁺ O ⁻ , FeK ⁺ Cy ⁻	Co=59 Co ⁺ Co ⁻ , Co ⁺ X ⁻ , Ni ⁺ Co ⁻ , CoK ⁺ Cy ⁻	Ni=59 NiK ⁺ Br ⁻ , NiSO ₄ , Ni ⁺ PO ₄ , NiK ⁺ Cy ⁻
K=39 KCl, KOH, K ⁺ O ⁻ , KNO ₃ , K ⁺ PO ₄ , K ⁺ SiF ₆	Ca=40 CaSO ₄ , CaO, CaSiO ₃ , CaCl ₂ , CaO, CaCO ₃	Zn=65 ZnCl ₂ , ZnO, ZnCO ₃ , ZnSO ₄ , ZnEt ₂	Ti=48(50) TiCl ₄ , TiO ₂ , Ti ⁺ O ⁻ , FeTiO ₃ , TiOSO ₄	V=51 VOCl ₃ , V ⁺ O ⁻ , V ₂ O ₅ , Pb ⁺ V ⁻ O ⁻ , V ₂ O ₅	Mn=55 MnCl ₂ , MnO, MnO ₂ , MnCO ₃ , Mn ⁺ SO ₄	Cu=63 Cu ⁺ Cl, Cu ⁺ OH, Cu ⁺ O, Cu ⁺ SO ₄ , Cu ⁺ CO ₃ , Cu ⁺ Ky ⁻	Ru=104 RuO ₄ , RuCl ₃ , RuO ₂ , RuCl ₃ , BaK ⁺ Cy ⁻	Rh=104 RhCl ₃ , RhCl ₄ , Rh ⁺ O ⁻ , Rh ⁺ X ⁻ , PdK ⁺ Cy ⁻	Pd=106 PdH ₂ , PdO, PdCl ₂ , PdCl ₄ , PdK ⁺ Cy ⁻
Rb=85 RbCl, RbOH, Rb ⁺ PO ₄	Sr=87 SrCl ₂ , SrO, Sr ⁺ O ⁻ , SrSO ₄ , SrCO ₃	Y=91(92) Y ⁺ O ⁻ , Y ⁺ Cl ₃ , Y ⁺ X ₃	Zr=90 ZrCl ₄ , ZrO ₂ , Zr ⁺ X ₄	Nb=94 NbCl ₅ , Nb ⁺ O ⁻ , Nb ⁺ O ⁻ , Nb ⁺ O ⁻ , As ⁺ As ⁻ , Sb ⁺	Mo=96 MoCl ₅ , MoS ₃ , MoO ₃ , M ⁺ Mo ⁻ , MoO ₄ ⁻	Ag=108 AgX, AgCl, Ag ⁺	Ru=104 RuO ₄ , RuCl ₃ , RuO ₂ , RuCl ₃ , BaK ⁺ Cy ⁻	Rh=104 RhCl ₃ , RhCl ₄ , Rh ⁺ O ⁻ , Rh ⁺ X ⁻ , PdK ⁺ Cy ⁻	Pd=106 PdH ₂ , PdO, PdCl ₂ , PdCl ₄ , PdK ⁺ Cy ⁻
Cs=133 CsCl, CsOH, Cs ⁺ PO ₄	Ba=137 BaCl ₂ , BaH ⁺ O ⁻ , BaO, BaSO ₄ , BaSiF ₆	La=140(144) La ⁺ O ⁻ , La ⁺ X ₃	Ce=140(138) CeCl ₃ , Ce ⁺ O ⁻ , CeO ₂ , CeX ⁺ , CeX ⁺ , CeK ⁺ X ⁻	Sb=123 SbCl ₅ , Sb ⁺ O ⁻ , Sb ⁺ O ⁻ , Sb ⁺ SO ₄	Te=128(128) TeH ₄ , TeCl ₄ , TeO ₂ , TeO ₃ , Te ⁺ M ⁻ Te ⁻	Cs=133 CsCl, CsOH, Cs ⁺ PO ₄	Ru=104 RuO ₄ , RuCl ₃ , RuO ₂ , RuCl ₃ , BaK ⁺ Cy ⁻	Rh=104 RhCl ₃ , RhCl ₄ , Rh ⁺ O ⁻ , Rh ⁺ X ⁻ , PdK ⁺ Cy ⁻	Pd=106 PdH ₂ , PdO, PdCl ₂ , PdCl ₄ , PdK ⁺ Cy ⁻
153	158	160	162	142	146	148	150	151	152
175	177	178=Er(180) Er ⁺ O ⁻ , Er ⁺ X ₃	180=Df(187) DfO ₂ , DfX ₄	182 TaCl ₅ , Ta ⁺ O ⁻ , Ta ⁺ X ₅	184 WCl ₆ , WCl ₅ , WCl ₄ , K ⁺ W ⁻ O ⁻ , W ⁺ O ⁻	188	190	191	192
Au=197 AuX, AuX ₃	Hg=200 HgCl ₂ , Hg ⁺ Cl ₂ , Hg ₂ O, HgX ⁺ , Hg ⁺ O	Tl=204 TlCl, Tl ⁺ O ⁻ , Tl ⁺ X ₃ , Tl ⁺ SO ₄ , TlCl ₃	Pb=207 PbCl ₂ , PbO, Pb ⁺ O ⁻ , Pb ⁺ SO ₄ , Pb ⁺ CO ₃ , PbX ⁺ , Pb ⁺ SO ₄ , Pb ⁺ CO ₃	Bi=208 BiCl ₃ , Bi ⁺ O ⁻ , Bi ⁺ X ₃ , BiX ⁺ , Bi ⁺ SO ₄ , Bi ⁺ CO ₃	H=1 HCl, H ⁺ , H ⁻ , H ₂ O	Os=193 OsO ₄ , Os ⁺ O ⁻ , Os ⁺ Cl ₃ , Os ⁺ Cl ₄ , Os ⁺ K ⁻ Cy ⁻	Ir=195 IrCl ₃ , IrCl ₄ , Ir ⁺ Cl ⁻ , Ir ⁺ Cl ⁻ , Ir ⁺ K ⁻ Cy ⁻	Pt=197 PtCl ₂ , PtCl ₄ , PtCl ₂ , PtCl ₄ , PtK ⁺ Cy ⁻	Au=197 AuCl ₃ , AuCl ₄ , Au ⁺ O ⁻ , Au ⁺ X ⁻ , AuK ⁺ Cy ⁻
220	225	227	231 ThCl ₄ , ThO ₂ , ThX ⁺ , Th ⁺ SO ₄	235	240 UCl ₄ , UO ₂ , U ⁺ X ₄ , UO ⁺ M ⁻ U ⁻	246	246	248	249

Obr. 1. Periodická soustava prvků D. I. Mendělejeva z roku 1869 (cit.²)

												C					
													P	S			
							Fe					Cu	Zn			As	
												Ag				Sn	Sb
												Au	Hg			Pb	Bi

Obr. 2. Prvky známé v pravěku (podbarvené) a ve středověku (na bílém podkladě)

D. I. Mendělejev z roku 1869. Jak víme, prvky uspořádal na základě jejich vlastností, které byly periodickou funkcí jejich atomových hmotností. D. I. Mendělejev předpověděl vlastnosti nových prvků skandia, galia a germania právě na základě znění periodického zákona, který zformuloval². Na základě znalosti vlastností prvků ve skupině předpověděl vlastnosti nových prvků a tím „doplnil“ chybějící políčka 4. periody. Předpokládané vlastnosti pak byly potvrzeny objevem tří zmíněných prvků v letech 1875 až 1886.

Aktivitu podobnou vědeckým postupům D. I. Mendělejeva představila ve své knize *Moderní výuka chemie* Olga Mokrejsová. Žáci mají v první fázi k dispozici tabulku, která je zobrazena na obr. 4. Žákům je vysvětleno, co která informace znamená (skupenství, hus-

tota, tvrdost, elektrická vodivost, atd.). Úkolem žáků je porovnat vlastnosti prvků v jednotlivých sloupcích a pokusit se formulovat změnu vlastností ve skupině, například tak, že hustota plynu ve třetím sloupci roste s rostoucím protonovým číslem. V druhé části dostanou kartičky reprezentující „neznámé“ prvky a ty se na základě uvedených vlastností pokusí zařadit na prázdná místa v tabulce. V třetí části se dozvědí, o jaké skupiny prvků se jedná, doplní značky jednotlivých prvků, porovnají jejich vlastnosti s vlastnostmi uvedenými v periodické soustavě nebo v učebnici. Jak uvádí autorka, „toto cvičení usnadňuje pochopení periodického zákona, vlastností prvků jednotlivých skupin a zároveň rozvíjí schopnosti logického uvažování žáků“ (cit.⁴).

H																	
Li	Be												B	C	N	O	F
Na	Mg												Al	Si	P	S	Cl
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo		Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	
Cs	Ba	La		Ta	W		Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi			

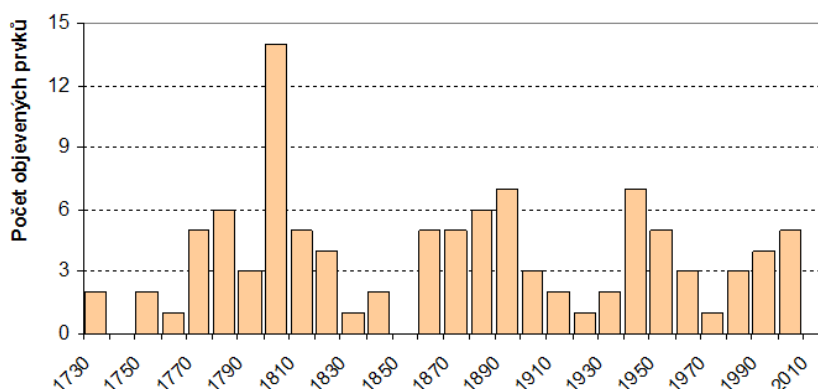
Ce											Dy		Er				
Th			U														

Obr. 3. Prvky známé v roce 1869 (podbarvené) a tři prvky předpověděné D. I. Mendělejevem (na bílém podkladě)

		0,000 18 velmi špatná –269 °C nerozpustný
pevná látka 0,534 měkký dobrá 180 °C reaguje		plyn 0,000 90 velmi špatná –248 °C nerozpustný
0,971 měkký dobrá 98 °C reag. prudce	plyn 0,003 21 velmi špatná –101 °C malá	plyn 0,00178 velmi špatná –189 °C nerozpustný
0,86 měkký dobrá 64 °C reag. výbušně	3,12 velmi špatná –7,2 °C velmi málo rozp.	
	4,94 měkký velmi špatná 114 °C velmi málo rozp.	plyn 0,00585 velmi špatná –112 °C nerozpustný

Obr. 4. Ukázka z knihy *Moderní výuka chemie* (přepřacováno podle cit.⁴)

Na prvky známé v pravěku a středověku navazuje graf na obr. 5, ve kterém je znázorněno, kolik nových prvků bylo v dané dekádě objeveno. Podívejme se společně na tři lokální maxima na počátku a na konci 19. století a ve 40. letech 20. století⁵. Co za nimi stojí? Obecně tento trend podpořila průmyslová revoluce. Za prvním maximem stojí objevení elektrolýzy, v důsledku čeho bylo možné připravit nové kovové prvky. Druhý vrchol bychom mohli nazvat vzácným maximem, protože za něj může hromadný



Obr. 5. Počty objevených prvků v dekadách mezi lety 1730–2010

objev prvků vzácných zemin a vzácných plynů. A třetí maximum souvisí s objevem transuranových prvků v důsledku sestrojení jaderné bomby a s tím souvisejících dalších technologií.

Od třetího maxima se z dějepisu plynule přesouváme do fyziky – a to k objevu a využití jaderného štěpení a objevení transuranových prvků. Fyzika následně hrála hlavní roli při přípravě dalších prvků, které postupně zaplnily 7. periodu. V roce 2016 získaly poslední 4 prvky své jméno od IUPAC – *nihonium*, *moscovium*, *tennessin* a *oganesson* a tím se současná podoba periodické soustavy se svými 118 prvky stala na nějakou dobu kompletní⁶. Pro přípravu transuranových prvků se dají využít různé postupy, zmiňme aspoň dva z nich. Jedním z nich je studená fúze, kdy jsou středně těžká jádra ostřelována těžšími projektily (částicemi). Druhou možností je využít terč z velmi těžkých jader, který je ostřelován lehčími projektily. Vzhledem k náročné syntéze a velmi krátkým poločasům přeměny jsou jejich přípravě a určování fyzikálně-chemických vlastností zapotřebí velmi moderní a drahé technologie.

Zatím jsme se zabývali zejména historií a vlastnostmi prvků, ale mohli bychom se na diskutovanou problematiku podívat i z geografického hlediska. Nejvíce prvků bylo objeveno ve Velké Británii, Švédsku, Německu, Francii a USA⁷. Vědci pěti států mají na svém kontě objev nebo spoluobjev neuvěřitelně stovky prvků, což vyvolává řadu otázek: Proč byli vědci v těchto státech tak úspěšní? Podílely se na jejich úspěchu dostupné přírodní zdroje, ekonomická situace daného státu nebo moderní technologie?

Z přírodovědných disciplín zatím nebyla zmíněna biologie. Ta se velmi překrývá s biochemií. Pojmy makrobiogenní, mikrobiogenní prvky a sloučeniny jsou zdomácněné v obou disciplínách. Náš svět funguje na čtyřvazném uhlíku. Je možné, aby jeho roli v budoucnu převzal křemík⁸? Vědci se věnují hledání odpovědi na tuto otázku, stejně tak jako přípravou nových prvků, které by otevřely 8. periodu^{6,9}.

Přesuňme se nyní na mapě do zemí Koruny české v první polovině 19. století, kde se národní obrozenci snažili pozvednout český jazyk na úroveň jazyka vzdělané společnosti a v souvislosti s tím i posílit český nacionalis-

Tabulka I

Příklady úspěšných i neúspěšných návrhů názvů prvků podle Jana Svatopluka Presla

Přijaté názvy prvků a značky		Nepřijaté názvy prvků a značky	
navržené	současné	navržené	současné
Vodík (V)	Vodík (H)	Solík (Sl)	Chlor (Cl)
Uhlík (U)	Uhlík (C)	Kostík (Ko)	Fosfor (P)
Dusík (D)	Dusík (N)	Platík (Pl)	Platina (Pt)
Kyslík (K)	Kyslík (O)	Strontík (Sr)	Stroncium (Sr)
Vápník (Vp)	Vápník (Ca)	Paladík (Pd)	Paladium (Pd)

mus. Dnes se ale nebudeme zabývat Dobrovským nebo Palackým, ale podíváme se na přínos Jana Svatopluka Presla. Ač byl původně vystudovaný lékař, zaměřil se na přírodovědnou kariéru. Pojmenoval celou řadu minerálů, rostlin, živočichů a hlavně chemických prvků! Příklady jeho úspěšných i neúspěšných návrhů názvů prvků a jejich značek jsou uvedeny v tab. I. Postupně i Preslovy úspěšné názvy získaly mezinárodní značky. Zastavme se ještě u návrhů jako solík pro chlor a kostík pro fosfor¹⁰. No řekněte, nestojí za to v hodinách češtiny tuto roztomilou zajímavost zmínit? Jak vyplývá z navržených názvů, vycházely z jejich zastoupení v kuchyňské soli, resp. kostech. A v neposlední řadě existuje celá řada inspirativních knih propojující významné chemiky a jejich cestu v beletrii. Budiž zmíněn alespoň Mendělejevův sen: *Putování po stopách prvků* od Paula Stratherna nebo starší knihu *Tvrdohlavá Marie* od Antonína Zhoře.

A jak závěrem shrnout představené téma s množstvím položených otázek? Nyní je zejména na nás, učitelích, abychom se ještě jednou zamysleli, jak periodickou soustavu prvků představíme našim žákům a jakým stylem s ní budeme pracovat. Zda první zkušeností žáků bude „musíme se naučit značky prvků zpaměti“ nebo jim dáme možnost a prostor, aby si v ní každý žák našel to, co je mu blízké, možnost přistoupit k ní komplexně a z různých pohledů. A samozřejmě, že postupně dojdeme i k chemickým zákonitostem, které jsou v ní ukryté, a budeme je společně rozkrývat. A v neposlední řadě tento komplexní přístup vyžaduje spolupráci mezi učiteli jednotlivých předmětů, což je jedna z oblastí, která si zaslouží v českém školství zlepšení.

Věřím, že periodická soustava prvků byla u příležitosti svého výročí, svých narozenin, představena v netradičním pohledu, dostala nový kabátek, a proto nezbyvá, než jí závěrem popřát: „Všechno nejlepší, náš užitečný pomocníku!“

LITERATURA

1. <https://www.iypt2019.org/>, staženo 20. 1. 2019.
2. Mendeleev D. I.: *Osnovy khimii*. Izdatel'stvo akademii nauk SSSR, Moskva-Leningrad 1949.
3. Jockenhövel A. (ed.): *Dějiny světa 1: globální dějiny od počátků do 21. století*. Vyšehrad, Praha 2012.
4. Mokrejšová O.: *Moderní výuka chemie*. Triton, Praha 2009.
5. Atanassova M., Angelov R.: *Bulg. J. Sci. Educ.* 23, 275 (2014).
6. Hofmann S., Dmitriev S. N., Fahlander C., Gates J. M., Roberto J. B., Sakai H.: *Pure Appl. Chem.* 90, 1773 (2018).
7. Scerri E. R.: *The Periodic Table. Its Story and Its Significance*. Oxford University Press, Oxford 2007.
8. Kan S. B. J., Lewis R. D., Chen K., Arnold F. H.: *Science* 354, 1048 (2016).
9. Hofmann S. a 36 spoluautorů: *Eur. Phys. J. A* 52, 180 (2016).
10. Canov M: http://canov.jergym.cz/objevite/objevite/tabulka_2.html, staženo 23. 1. 2019.

P. Distler (*Department of Nuclear Chemistry, Czech Technical University in Prague, Gymnázium Altis*): **A Dreaded Enemy or an Inspiring Helper?**

The United Nations proclaimed 2019 the International Year of the Periodic Table of chemical elements. The paper presents the work of Dmitry I. Mendeleev which resulted in the periodic law and in the arrangement of elements into a table in the form we use today. The history of discoveries of the elements is briefly presented. Also, the relationship between chemistry and history, geography, physics, biology, and literature, including particular ideas for teaching, is discussed.

Full text English translation is available in the on-line version.

Keywords: periodic systém of elements, D. I. Mendeleev, teaching chemistry, relations between school subjects