



# Historie bezdotykového měření teplot

Jana Kuklová, 3 70  
2008/2009

# Osnova prezentace

- Úvod k prezentaci
- Historie měření teploty
- Objevy, které umožnily vývoj bezdotykového měření teplot
- Počátky vývoje bezdotykového měření teploty
- Vývoj produktů společnosti FLIR Systems (převzato z [1])
- Termokamera na Fakultě dopravní
- Zdroje informací a ilustračních obrázků

# Úvod k prezentaci

Infračervená termografie je poměrně moderní způsob bezdotykového měření teplot a teplotních polí, jehož vývoji a historickým souvislostem se věnuje tato prezentace.

Nejprve byly ke stanovení teploty využívány klasické dilatační teloměry, které přežily dodnes. Vývoj fyziky a technologie však umožnily vznik nových teploměrů, mezi něž patří i tzv. infrateploměry (radiační teploměry) sloužící k bezdotykovému měření.

# Úvod k prezentaci

Vývoj samotných infrateplměřů a termovizních kamerových systémů byl zaměřen ve 20. století. Nejprve byla většina aplikací určena pro vojenské účely, později se však na trhu objevila společnost FLIR Systems, která soustřeďuje své zájmy především k vývoji infračervené termografie pro komerční a vědecké účely. Díky této společnosti se vyvinula řada kamerových systémů pro nejrůznější aplikace (stavebnictví, věda a výzkum, atd.).

Závěrečná část prezentace je věnována termokameře, kterou máme k dispozici na Fakultě dopravní.

# Historie měření teploty

## POČÁTKY

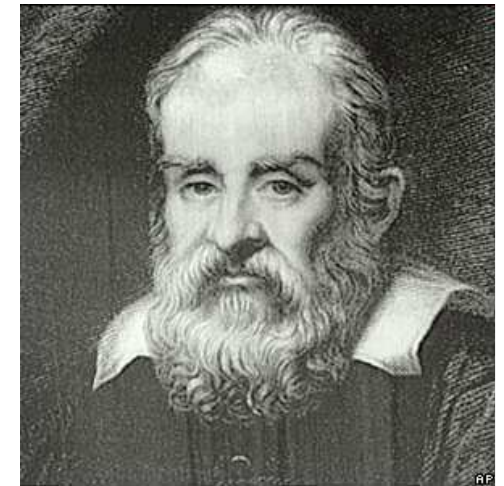
- původní způsoby určování teploty – lidským okem na základě zkušenosti (př. barva vypálené hlíny)



*Ručně vyrobená miska  
ze šamotové hlíny*

- 1592 Galileo Galilei vynalezl vzduchový teploměr

- využití expanze a kontrakce vzduchu k pohybu vodního sloupce v trubici
- teploměr neměl stupnici



*Galileo Galilei (1564 – 1642)*

# Historie měření teploty

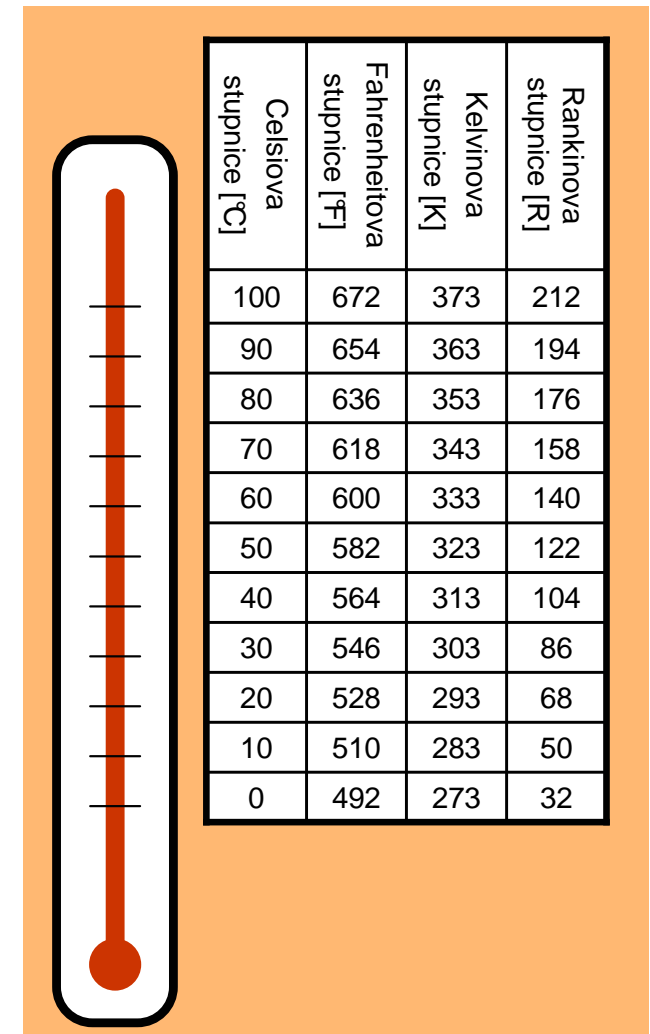
## KAPALINOVÉ DILATAČNÍ TEPLoměRY

- 1631 francouzský lékař Jean Rey sestavil první kapalinový teploměr
  - dilatační teploměr založený na roztažnosti kapaliny
  - voda jako teploměrná látka (voda se neukázala jako nejvhodnější látka, jelikož má malou teplotní roztažnost)
- 1641 toskánský velkovévoda Ferdinand II. sestrojil lihový teploměr
- 1714 Fahrenheit poprvé používá jako teploměrnou látku rtuť

# Historie měření teploty

## STUPNICE

- od 17. století byly teploměry opatřovány stupnicí (vzniklo jich nesčetné množství)
- v 18. století vznikly stupnice Fahrenheitova, Celsiova a Réaumurova (brzy zanikla)
- v 19. století vznikla stupnice Kelvinova a Rankinova



Porovnání jednotlivých stupnic

# Historie měření teploty

## NOVÉ TECHNOLOGIE, NOVÉ TEPLoměRY

### ■ odporové teploměry

- teplota určena na základě změny elektrického odporu vodiče nebo polovodiče

### ■ termoelektrické teploměry

- založeny na termoelektrickém jevu (objeven v 19. stol.)
- termoelektrické napětí se mění v závislosti na změně rozdílu teploty dvou různých kovů



# Historie měření teploty

## NOVÉ TECHNOLOGIE, NOVÉ TEPLoměRY

- infrateploměry (radiační teploměry)
  - umožňují bezdotykové měření teploty
  - teplota určena na základě záření, které vysílají měřené objekty
  - objevům, které umožnily sestavení prvních radiačních teploměrů, je věnována další část prezentace

# Objevy, které umožnily vývoj bezdotykového měření teplot

- 1670 – 1672 Isaac Newton studoval bílé světlo a zjistil, že lze rozložit do barevného spektra
- 1675 dospěl k názoru, že světlo je tvořeno malými částicemi (korpuskulemi)
- 1678 Christian Huygens popsal vlnové vlastnosti světla, položil tak základy pro Maxwellovu teorii elektromagnetického záření



Isaac Newton  
(1643 – 1727)



Christian Huygens  
(1629 – 1695)

# Objevy, které umožnily vývoj bezdotykového měření teplot

- 1800 William Herschel objevil při svých experimentech s viditelným světlem infračervenou oblast záření (v této době ještě nebyla známa Maxwellova teorie)
- Joseph von Fraunhofer poprvé použil pro studium světla spektroskop, stal se tak zakladatelem spektrální analýzy a položil základ pro vysvětlení pojmů emise a radiace



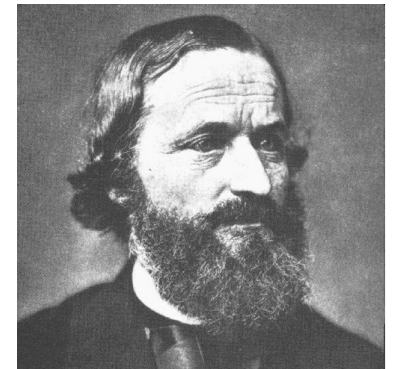
William Herschel  
(1738 – 1822)



Joseph von Fraunhofer  
(1787 – 1826)

# Objevy, které umožnily vývoj bezdotykového měření teplot

- Gustav Robert Kirchhoff a Robert Bunsen zdokonalili Frounhoferův spektroskop a pozorovali charakteristická spektra záření, která emitují chemické prvky
- 1859 Kirchhoff vytvořil obecnou teorii emise a radiace (Kirchhoffův-Bunsenův zákon), která říká, že schopnost látky emitovat záření je shodná se schopností jej absorbovat při stejné teplotě



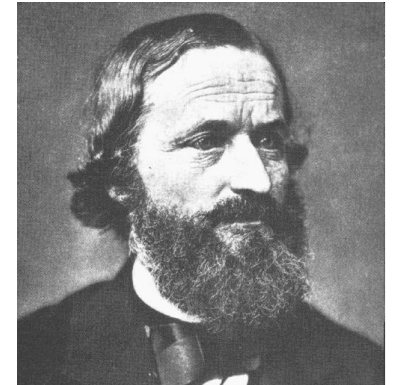
*Gustav Robert Kirchhoff  
(1824 – 1887)*



*Robert Bunsen  
(1811 – 1899)*

# Objevy, které umožnily vývoj bezdotykového měření teplot

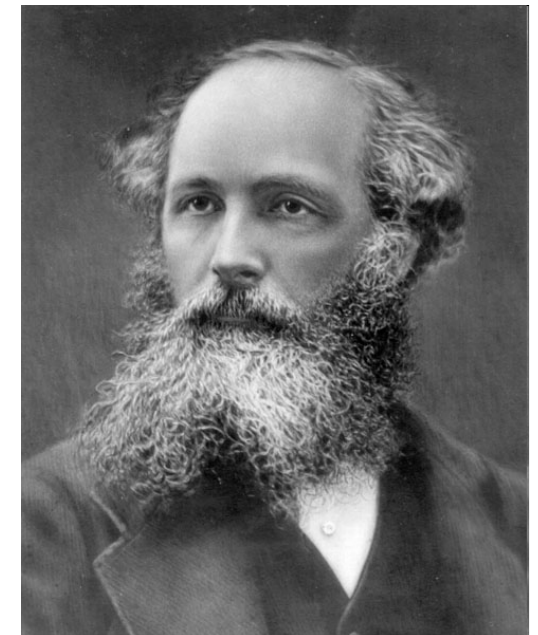
- 1860 Kirchhoff definoval absolutně černého těleso jako objekt, který při zahřívání absorbuje všechny frekvence záření a při ochlazování je vyzařuje



Gustav Robert Kirchhoff  
(1824 – 1887)

# Objevy, které umožnily vývoj bezdotykového měření teplot

- 1864 James Clerk Maxwell popsal matematickými rovnicemi elektromagnetické pole (Maxwellovy rovnice)
- teoreticky odvodil rychlost elektromagnetického vlnění a dospěl k závěru, že světlo samo je elektromagnetickým vlněním
- předpověděl rozsah celého elektromagnetického spektra (dnes je někdy označováno jako Maxwellova duha)



James Clerk Maxwell  
(1831 – 1879)

# Objevy, které umožnily vývoj bezdotykového měření teplot

- 1879 Joseph Stefan experimentálně stanovil vztah mezi množstvím energie vyzařované absolutně černým tělesem a jeho termodynamickou teplotou
- 1884 Ludwig Boltzmann teoreticky odvodil a matematicky popsal Stefanem experimentálně vysledovaný zákon vyzařování absolutně černého tělesa (Stefanův-Boltzmannův zákon se stal základem radiační termometrie)



Joseph Stefan  
(1835 – 1893)

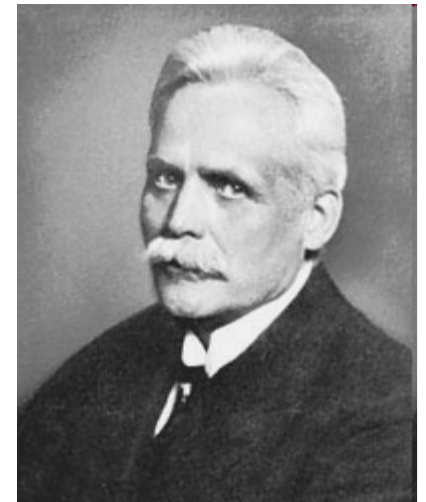


Ludwig Boltzmann  
(1844 – 1906)



# Objevy, které umožnily vývoj bezdotykového měření teplot

- 1893 Wilhelm Wien empiricky stanovil vztah mezi termodynamickou teplotou a vlnovou délkou absolutně černého tělesa, při nichž spektrální hustota vyzařování dosahuje svého maxima (Wienův zákon posunu)
- 1896 Wien opět empiricky odvodil zákon popisující závislost spektrální hustoty vyzařování absolutně černého tělesa na vlnové délce (platil pouze v oblasti krátkých vlnových délek, později zákon teoreticky odvodil Max Planck)

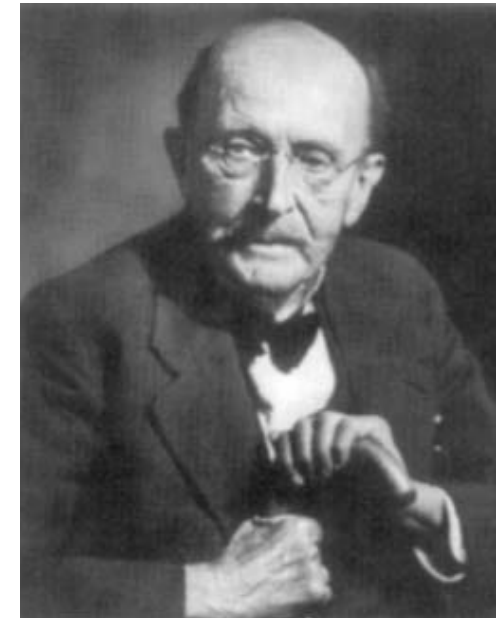


Wilhelm Carl Werner  
Otto Fritz Franz Wien  
(1864 – 1928)



# Objevy, které umožnily vývoj bezdotykového měření teplot

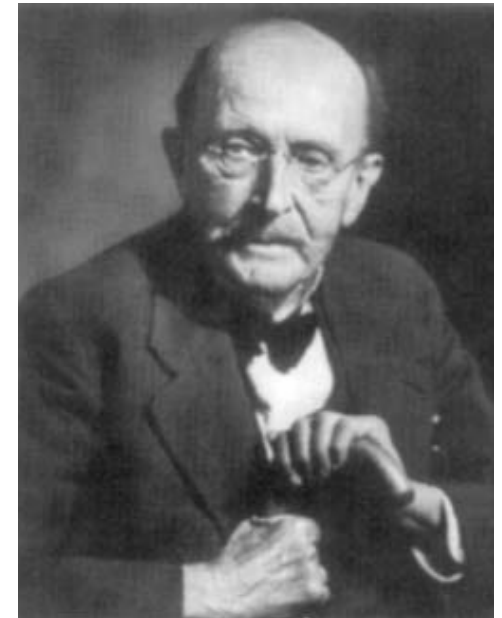
- od r. 1894 Max Planck zkoumal spektrum záření emitovaného absolutně černým tělesem
- přišel s hypotézou, že světlo není vyzařováno ve spojitém proudu a energie se skládá z diskrétních jednotek, kvant (částicová teorie elektromagnetického záření)
- 1899 odvodil univerzální fyzikální konstantu (dnes známá jako Planckova konstanta)



Max Karl Ernst Ludwig Planck  
(1858– 1947)

# Objevy, které umožnily vývoj bezdotykového měření teplot

- 1900 Max Planck odvodil správný zákon vyzařování absolutně černého tělesa (Planckův vyzařovací zákon)

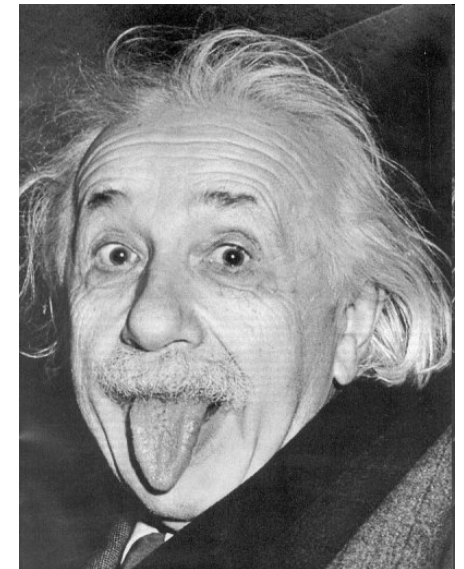


Max Karl Ernst Ludwig Planck  
(1858– 1947)

# Objevy, které umožnily vývoj bezdotykového měření teplot

- v roce 1901, kdy Max Planck publikoval správný zákon vyzařování absolutně černého tělesa, již v podstatě nic nebránilo vývoji prvních radiačních teploměrů

***„Planck dal jeden z nejsilnějších impulsů pro rozvoj vědy vůbec.“  
Albert Einstein***



# Počátky vývoje bezdotykového měření teploty

- 1901 první patent týkající se radiální termometrie
  - přístroj používající termoelektrické čidlo
  - výstupní elektrický signál
  - schopnost pracovat bez obsluhy
- 1931 první komerčně dostupné radiální termometry
  - využití: zaznamenávání a řízení průmyslových procesů
  - využití dodnes pro nízkoteplotní aplikace

# Počátky vývoje bezdotykového měření teploty

## ■ 2. světová válka

- vývoj technologií pro vojenské účely (postup vývoje udržován v tajnosti)

## ■ po 2. světové válce

- první moderní radiační teploměry
- zařízení, která byla vyvinuta především pro vojenské účely
- první infračervené kvantové detektory (fotodetektory se selenem olovnatým)

# Počátky vývoje bezdotykového měření teploty

## ■ 60. léta 20. století

- vznik společnosti FLIR Systems, která má největší podíl na dalším vývoji infračervené termografie (viz další část prezentace)
- společnost vznikla postupnou integrací amerických i evropských výrobců infračervených systémů



# Vývoj produktů společnosti FLIR Systems

- 1965 první teplotní zobrazovací systém pro prediktivní údržbu
- 1973 první přenosný infračervený skenovací systém napájený z baterie a určený pro predikční údržbu průmyslových aplikací
- 1975 první systém s videovýstupem

# Vývoj produktů společnosti FLIR Systems

- 1978 první skenovací duální systém schopný analogově zaznamenávat teplotní události v reálném čase
- 1983 první teplotní zobrazovací a měřicí systém s možností zobrazení měřené teploty na obrazovce
- 1986 první termoelektrický chlazený systém



# Vývoj produktů společnosti FLIR Systems

- 1989 první ucelený systém infračervené kamery se zabudovanou digitální pamětí
  - primárně určeno pro pro prediktivní údržbu (PM) a vědu a výzkum (R&D)
- 1991 první termografický analytický a vyhodnocovací systém pracující v operačním systému Windows

# Vývoj produktů společnosti FLIR Systems

- 1993 první mozaikový detektor (systém FPA)
- 1995 první plně funkční infračervený systém FPA ve stylu přenosové videokamery s nahrávačem
- 1997 první nechlazený systém s mozaikovým nechlazeným mikrobolometrem

# Vývoj produktů společnosti FLIR Systems

- 2000 první termografický systém s teplotním i vizuálním zobrazováním & první termografický systém, který spojuje zaznamenávání teplotních, vizuálních, hlasových a textových dat
- 2002 první automatizovaný termografický systém s odpojitelným panelem dálkového ovládání s LCD displejem, pamětí na obrazy ve formátu JPEG, rozšířenou konektivitou (USB, IrDA), záznamem teplotních, vizuálních, hlasových a textových dat

# Vývoj produktů společnosti FLIR Systems

- 2002 první cenově příznivá a velmi kompaktní příruční termografická kamera
- 2003 první cenově příznivá a velmi kompaktní infračervená kamera pro pevnou instalaci určená k použití v sektoru automatizace a zabezpečení (četné vestavěné funkce)
- 2004 první modely kamery speciálně zkonstruované pro termografické sledování budov

# Vývoj produktů společnosti FLIR Systems

- v dnešní době se na trhu se objevují různé specializované kamerové systémy
- jedná se o velice perspektivní obor, takže lze očekávat další vývoj kupředu

# Termokamera na Fakultě dopravní

- 2006 byla zakoupena termokamera ThermaCAM™ P65 Ústavem aplikované matematiky od společnosti FLIR Systems
- od zimního semestru 2006 je měření s termokamerou zařazeno do laboratorního cvičení z fyziky
- od zimního semestru 2007 běží na Fakultě projekt Softwarové nástroje pro zpracování obrazu z termovizních měření



# Zdroje informací a ilustračních obrázků

- [1] ThermaCAM<sup>TM</sup> P65 – Příručka uživatele, 2005
- [2] [http://www.newport.cz/techinfo/PDF/techinfo\\_1.pdf](http://www.newport.cz/techinfo/PDF/techinfo_1.pdf)
- [3] <http://en.wikipedia.org/>
- [5] <http://cs.wikipedia.org/>
- [6] <http://www.flirthermography.com/>
- [7] <http://www.quido.cz/Objevy/teplomer.htm>
- [8] [http://sf.zcu.cz/rocnik03/cislo03/w\\_kucera.html](http://sf.zcu.cz/rocnik03/cislo03/w_kucera.html)
- [9] <http://greensborolibrary.files.wordpress.com/>
- [10] <http://www.svetbonsaji.cz/>