

Dôsledky elektrických síl

pružnosť, trenie, odpor prostredia, ...

prakticky všetko

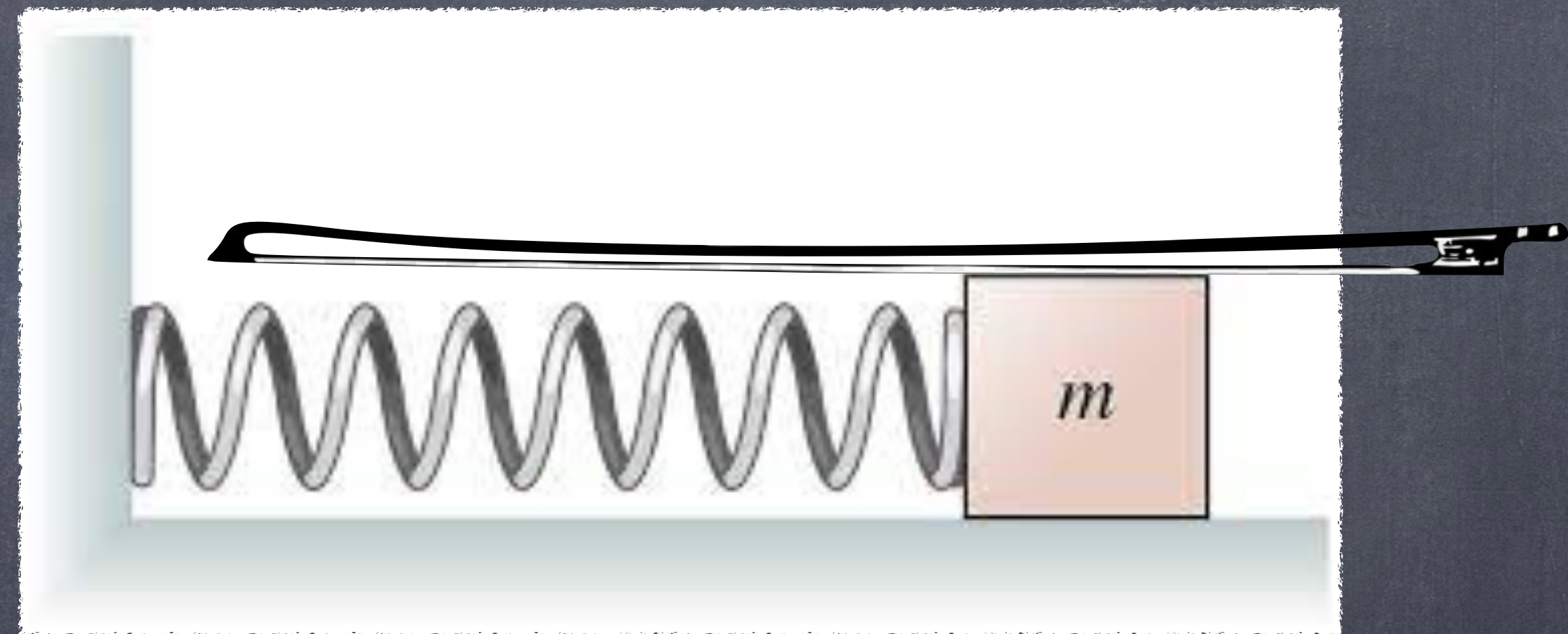
- Skoro všetko okolo nás je dôsledkom Lorentzovej sily a z nej najmä Coulombovej sily
- Spolu s kvantovou mechanikou je Coulombova sila zodpovedná za chemickú väzbu aj za štruktúru látok (tuhé látky, kvapaliny, plyny)
- Je tiež zodpovedná za interakcie medzi látkami, ktoré sa prejavujú napríklad ako elastické sily, kontaktné sily, odpor prostredia, trenie, ...

cieľ tejto prednášky

- povedať si (zopakovať si) ako vyzerajú elastické sily, kontaktné sily, odpor prostredia, trenie a podobne v najjednoduchších situáciách
- povedať si, ako vyzerajú tieto sily vo všeobecnosti
- ilustrovať pôsobenie týchto síl na jednom konkrétnom príklade (nájdenním pohybu metódou krok za krokom)

teliesko na pružinke

- výborný ilustračný príklad pôsobenia rôznych síl, ktoré sú dôsledkami elektrických síl
- samotná pružina (elastická) pôsobenie podložky (kontaktná) tlmenie (odpor vzduchu, trenie)
- a čo sa stane, keď budeme po teliesku zvrchu t'ahať husľový sláčik? čo vlastne robí sláčik?



- kvalitatívne porozumenie: Jeden výdych koňa
- kvantitatívne porozumenie: programy v pythone

elastická síla

- Vo všeobecnosti komplikovaná, ale v niektorých situáciách je dominantný člen jednoduchý
- Síla, ktorou pôsobí mierne stlačená alebo roztiahnutá tyč (prierez S , dĺžka l , predĺženie Δl) na svojich koncoch má smer tyče a veľkosť danú Hookovým zákonom

$$F = E \cdot S \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

- Konštanta E sa nazýva Youngov modul pružnosti

нєрoвнннá úloha tu a teraz

• pri kmitaní pružiny sa skutočná dĺžka zvinutej pružiny mení len málo, takže sa zvykne považovať za nemennú

• predĺženie pružiny je úmerné výchylke telieska

$$• F = -\frac{E \cdot S}{l} \Delta l = -k \cdot x$$

• znamienko mínus je tam kvôli správnej orientácii sily

• napíšte kľúčovú časť programu pre počítanie

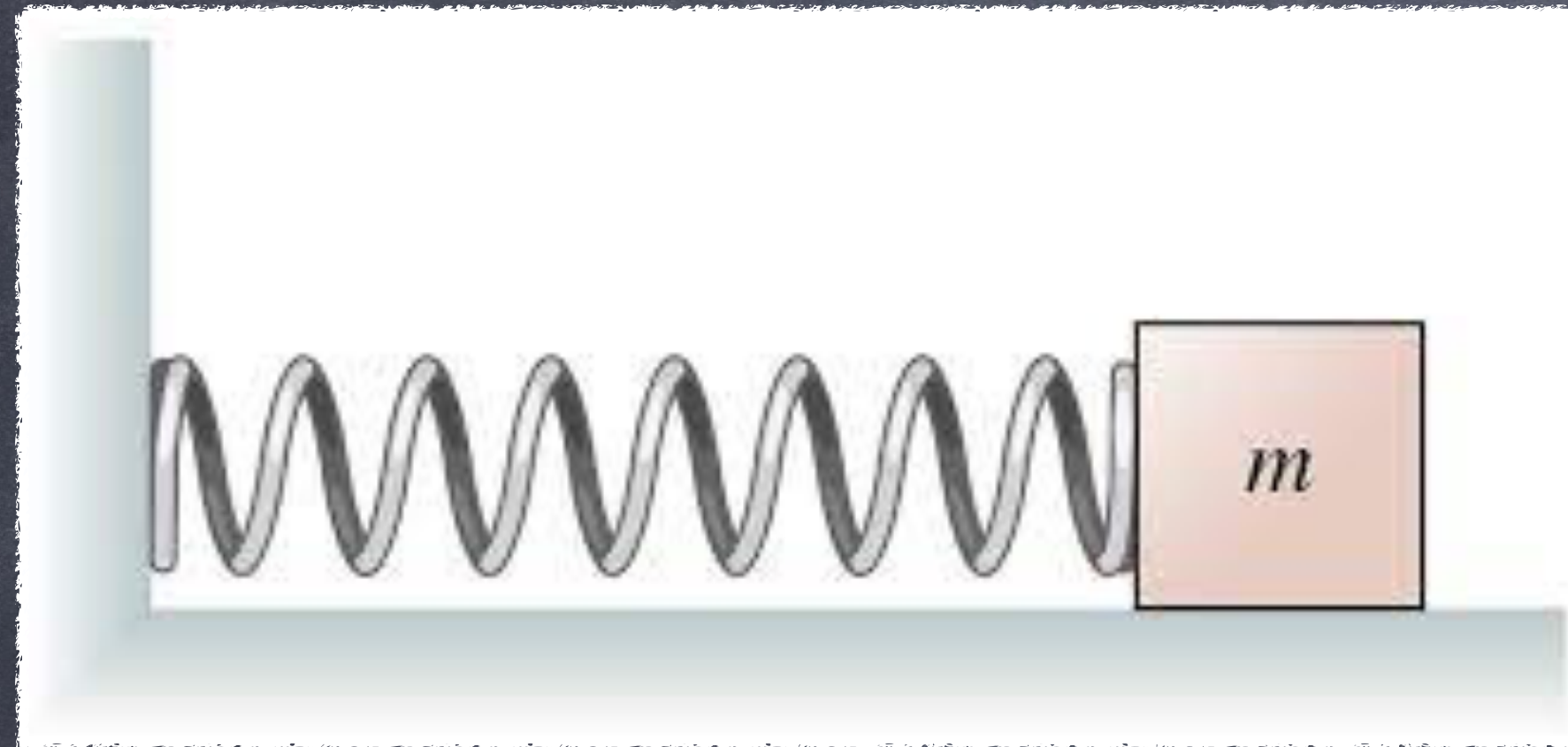
• mali by ste mať toto:

$$a_n = -k x_n / m$$

$$x_{n+1} = x_n + v_n * dt$$

$$v_{n+1} = v_n + a_n * dt$$

oscilátor na řadě vo vakuu

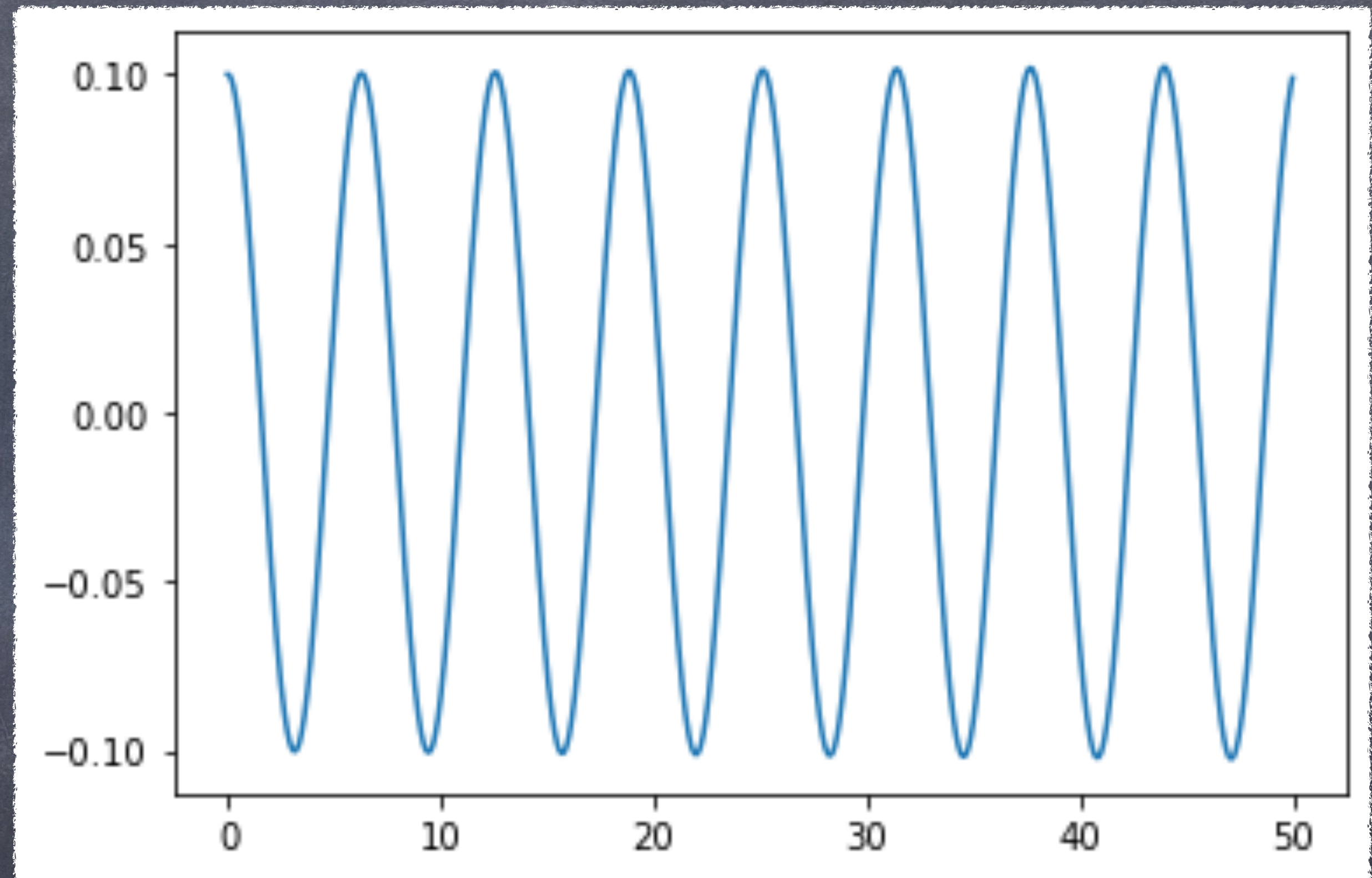


- nulové trenie
- nulový odpor vzduchu

$$a_n = -k x_n / m$$

$$x_{n+1} = x_n + v_n * dt$$

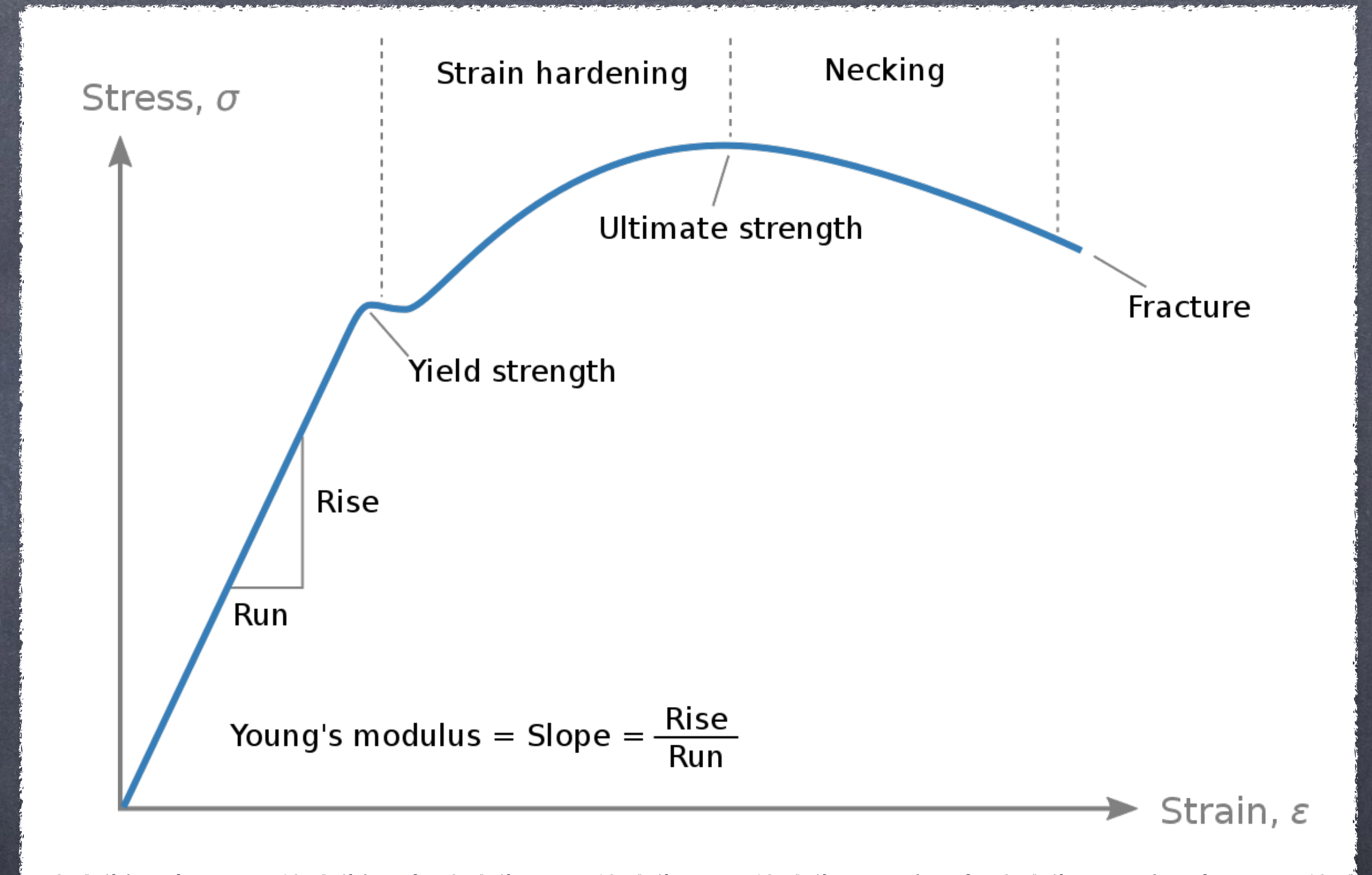
$$v_{n+1} = v_n + a_n * dt$$



$$m=1 \quad k=1 \quad x_0=0.1 \quad v_0=0$$

nepovinné poznámky k pružnosti

- uvedená lineárna závislosť je len priblížením skutočnej závislosti, pričom priblíženie je dobré len v určitom intervale hodnôt príslušných veličín
- malé deformácie pružného telesa nemusia spočívať len v stláčaní a natáhaní, môže ísť aj o tzv. deformácie v šmyku (nerovnaké posunutia) alebo o skrútenia - pre každý typ malej deformácie platí osobitný Hookov zákon



typická závislosť napätia $\sigma = F/S$
od relatívneho predĺženia $\epsilon = \Delta l/l$

síla odporu prostředí

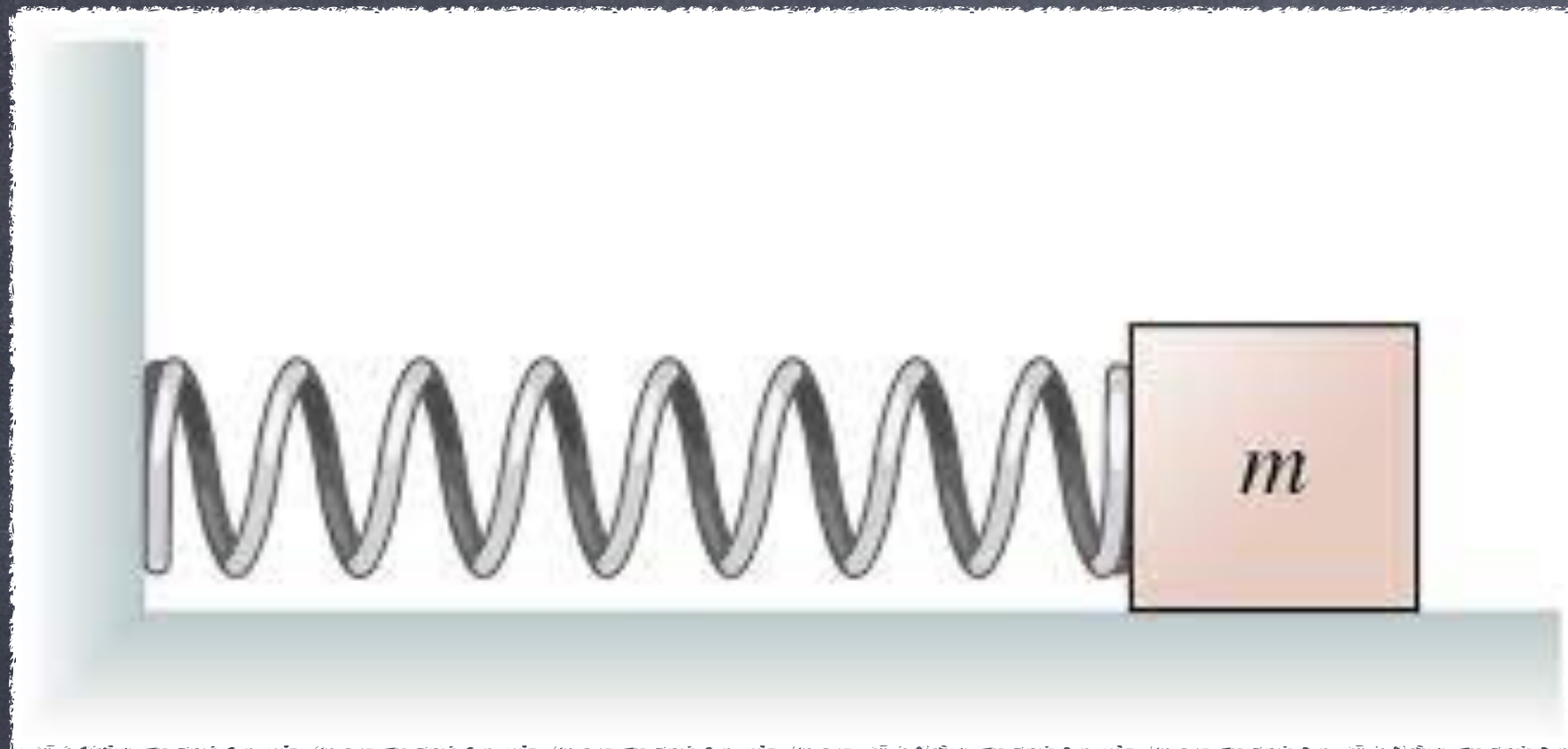
- Vo všeobecnosti velmi komplikovaná, ale pro malé rychlosti je dominantní člen velmi jednoduchý
- Naozaj malé rychlosti

$$\vec{F} = -\gamma \cdot \vec{v}$$

- Trochu větší rychlosti (v poměrně širokém intervalu)

$$\vec{F} = -\alpha \cdot v \cdot \vec{v}$$

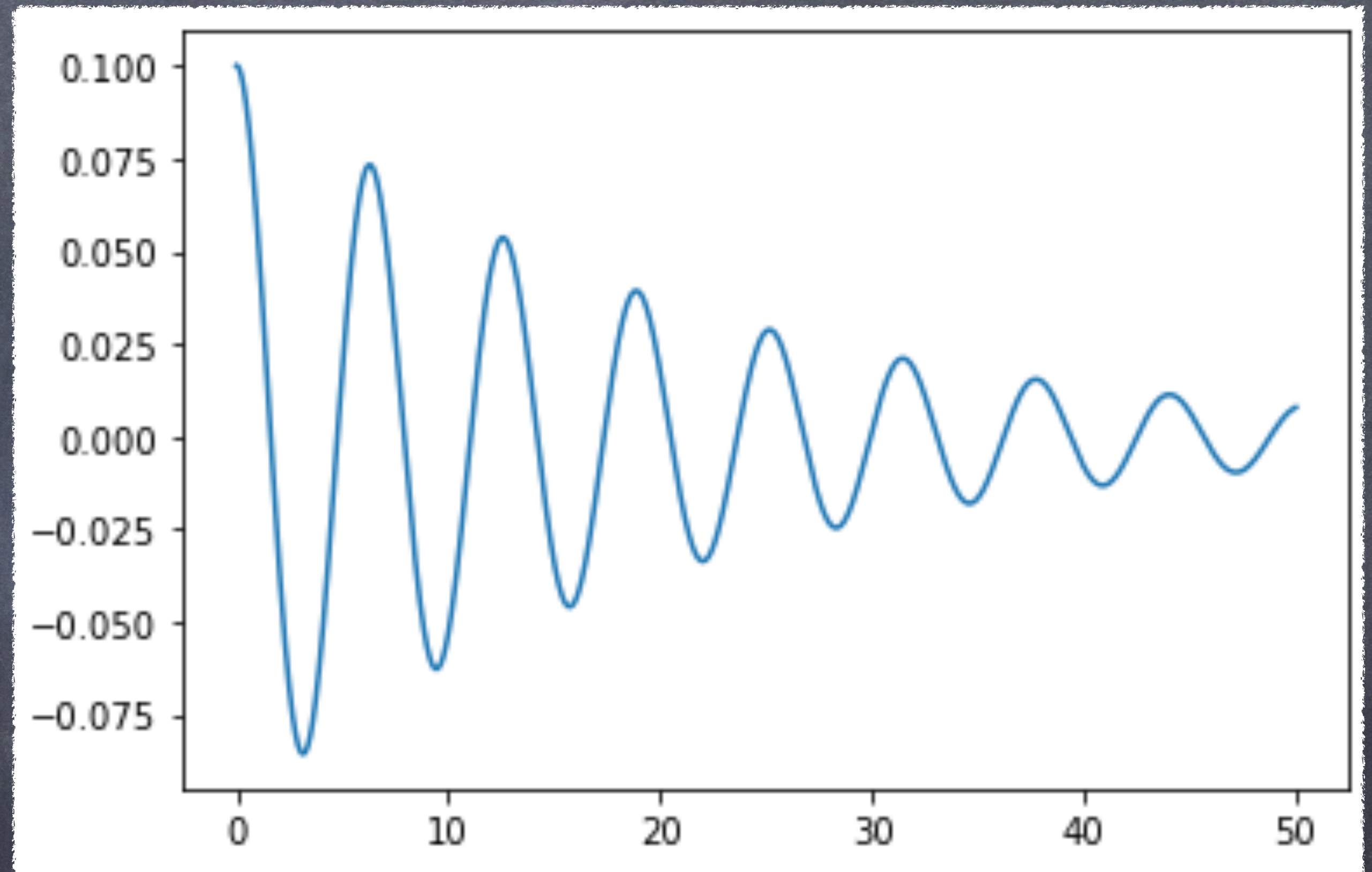
Elementárny oscilátor na ľade



- nulové trenie
- malý odpor vzduchu
- $a_n = (-k x_n - \gamma * v_n) / m$

$$x_{n+1} = x_n + v_n * dt$$

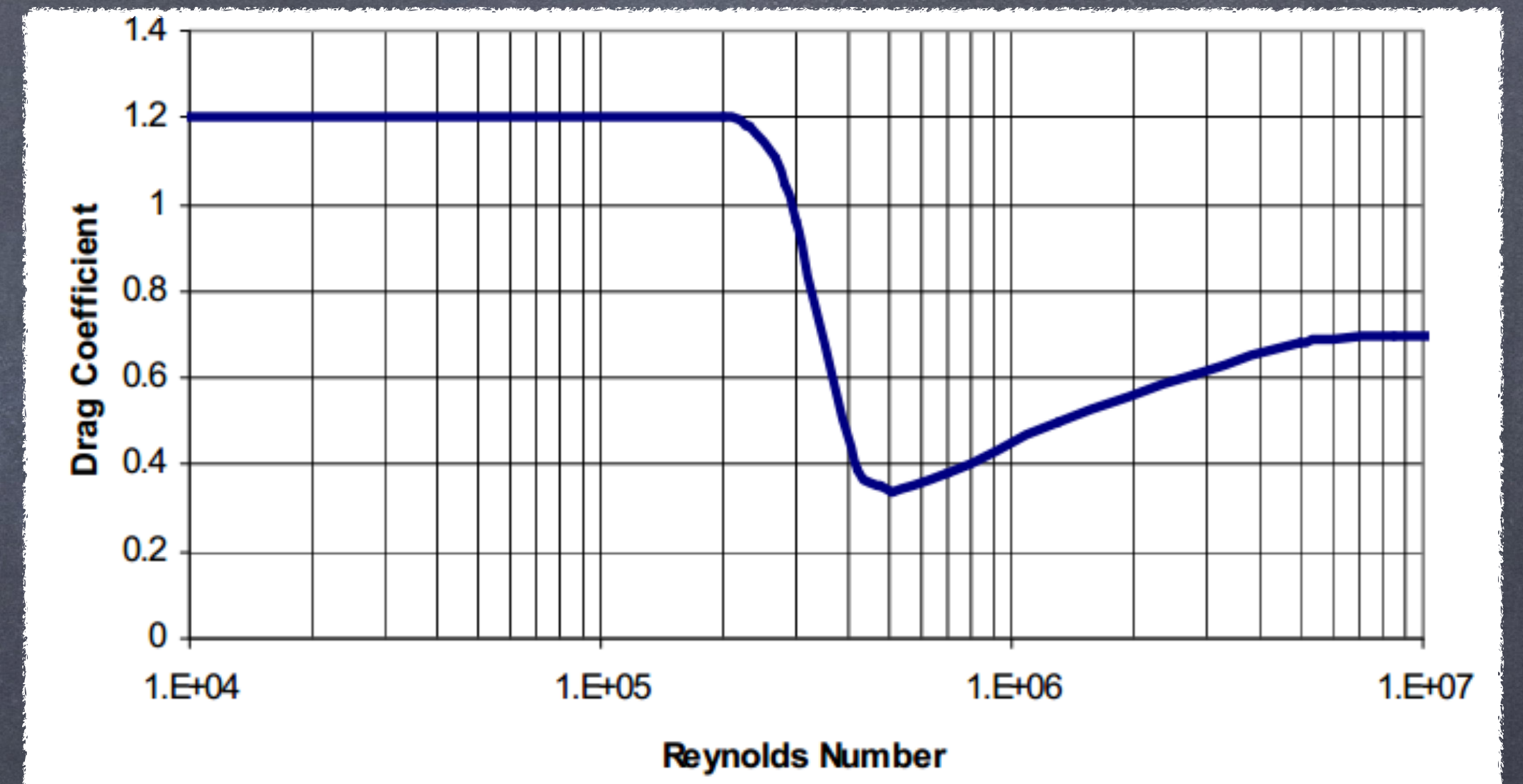
$$v_{n+1} = v_n + a_n * dt$$



$$m=1 \quad k=1 \quad \gamma=0.1 \quad x_0=0.1 \quad v_0=0$$

nerovinná poznámka k odporu

- koeficient α sa často zapisuje ako $\alpha = \frac{1}{2} \rho A \cdot c_d$ (ρ je hustota prostredia, A je plocha prierezu telesa v smere kolmom na rýchlosť a c_d sa nazýva koeficient odporu (drag coefficient))
- relatívna rýchlosť telesa a prostredia sa zvykne charakterizovať pomocou tzv. Reynoldsovho čísla $Re = v \cdot L / \mu$ kde v je tá relatívna rýchlosť, L je typický lineárny rozmer telesa (napr. polomer gule) a μ je viskozita



typická závislosť koeficientu odporu od Reynoldsovho čísla (jednoduchý vzťah $F = \alpha \cdot v^2$ s konštantným α platí iba pre dostatočne malé Re , čiže aj v)

tracia sila

- Vo všeobecnosti dost' komplikovaná, ale dominantný člen veľmi jednoduchý, závisiaci len od takzvanej normálovej sily (kolmej na styčnú plochu)

- Kinetické trenie (pohybujúce sa teleso):

veľkosť $F = f_k \cdot N$ smer proti smeru rýchlosti

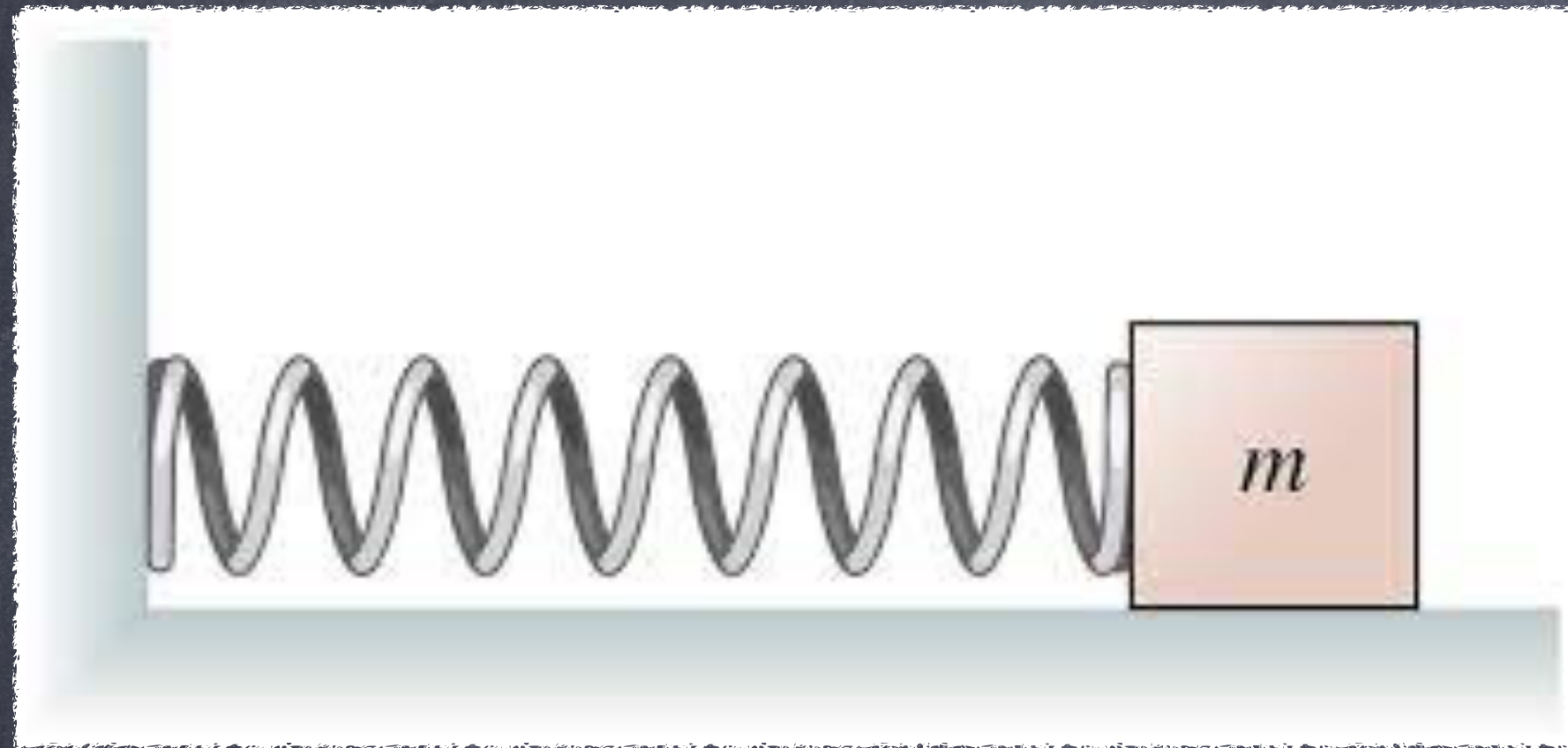
$$\vec{F} = -f_k \cdot N \cdot \frac{\vec{v}}{v}$$

- Statické trenie (stojace teleso):

veľkosť aj smer také, aby nenastal pohyb, pričom ale

$$F \leq f_s \cdot N$$

Elmény oscilátor s trevím

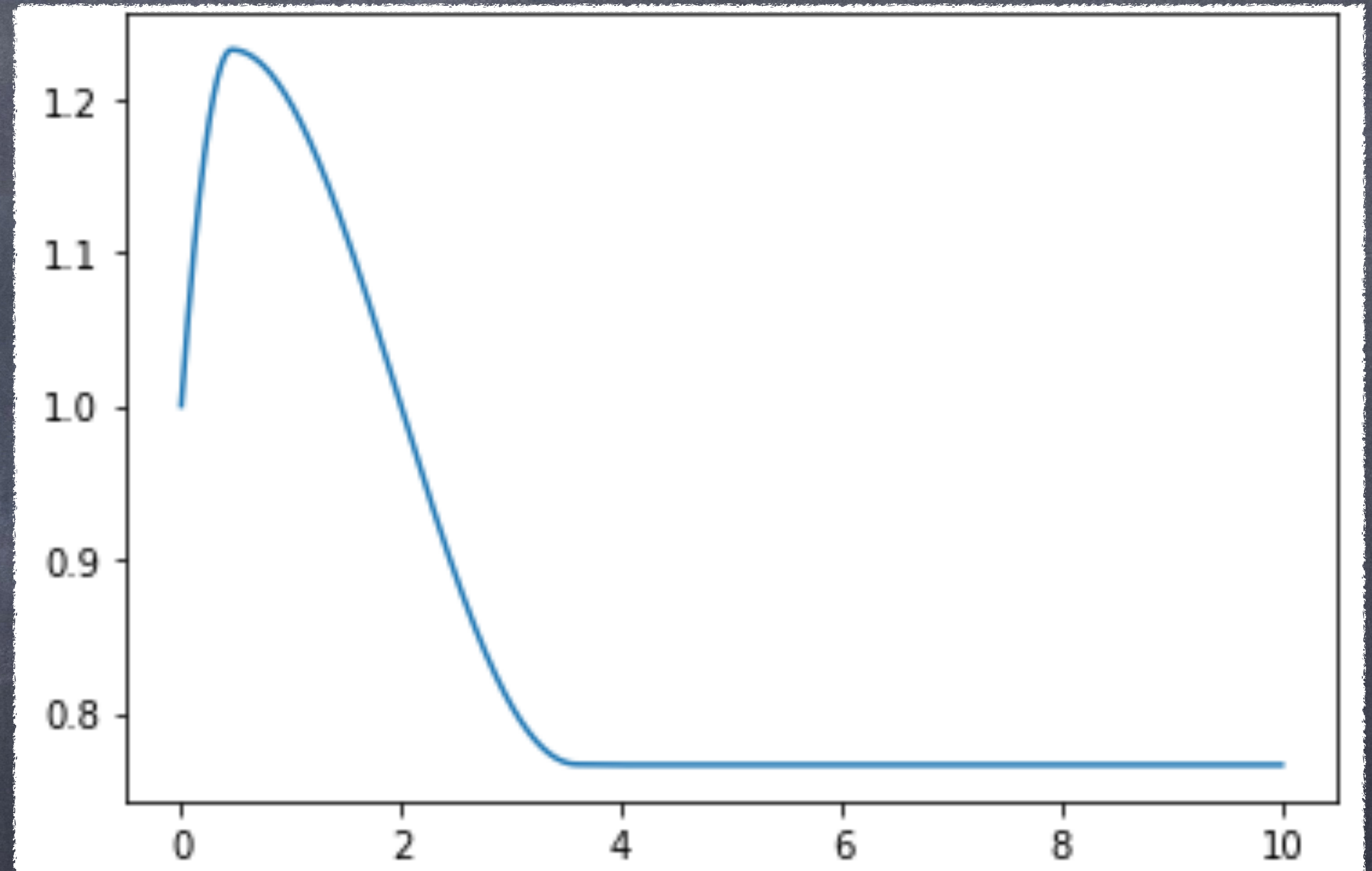


if $\text{abs}(v[n]) < \epsilon$ and $\text{abs}(k*x[n]) < f_s*m*g$:

$$a[n] = 0.$$

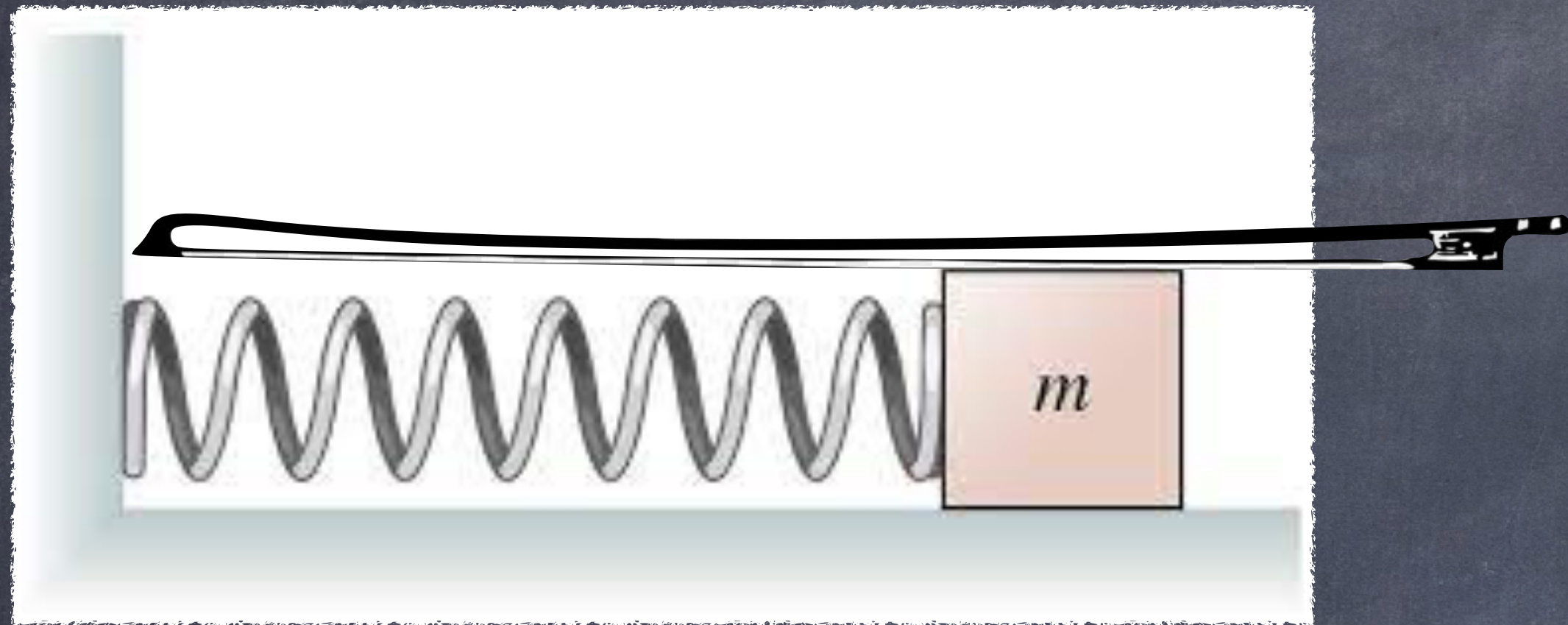
else:

$$a[n] = \frac{-k*x[n] - \text{gamma}*v[n] - f_k*m*g*\text{sgn}(v[n])}{m}$$



$$m=1 \quad k=1 \quad \gamma=0.1 \quad x_0=1 \quad v_0=1$$
$$f_k=0.1 \quad f_s=0.3$$

oscilátor na řadě + sláček

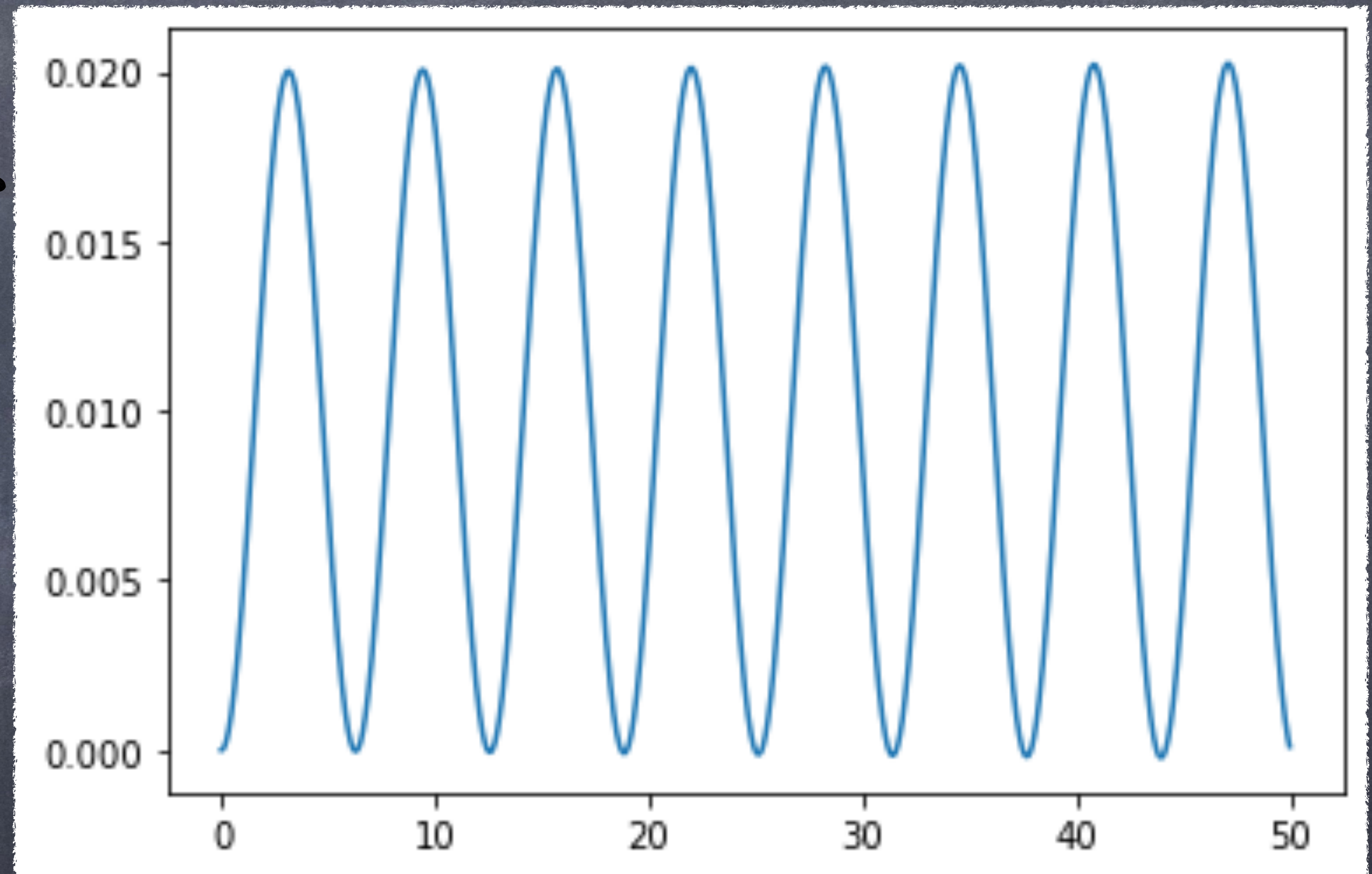


if $\text{abs}(v[n]-u) < \text{eps}$ and
 $\text{abs}(-k*x[n]-\text{gamma}*v[n]) < f_s*F_n$:

$$a[n]=0.$$

else:

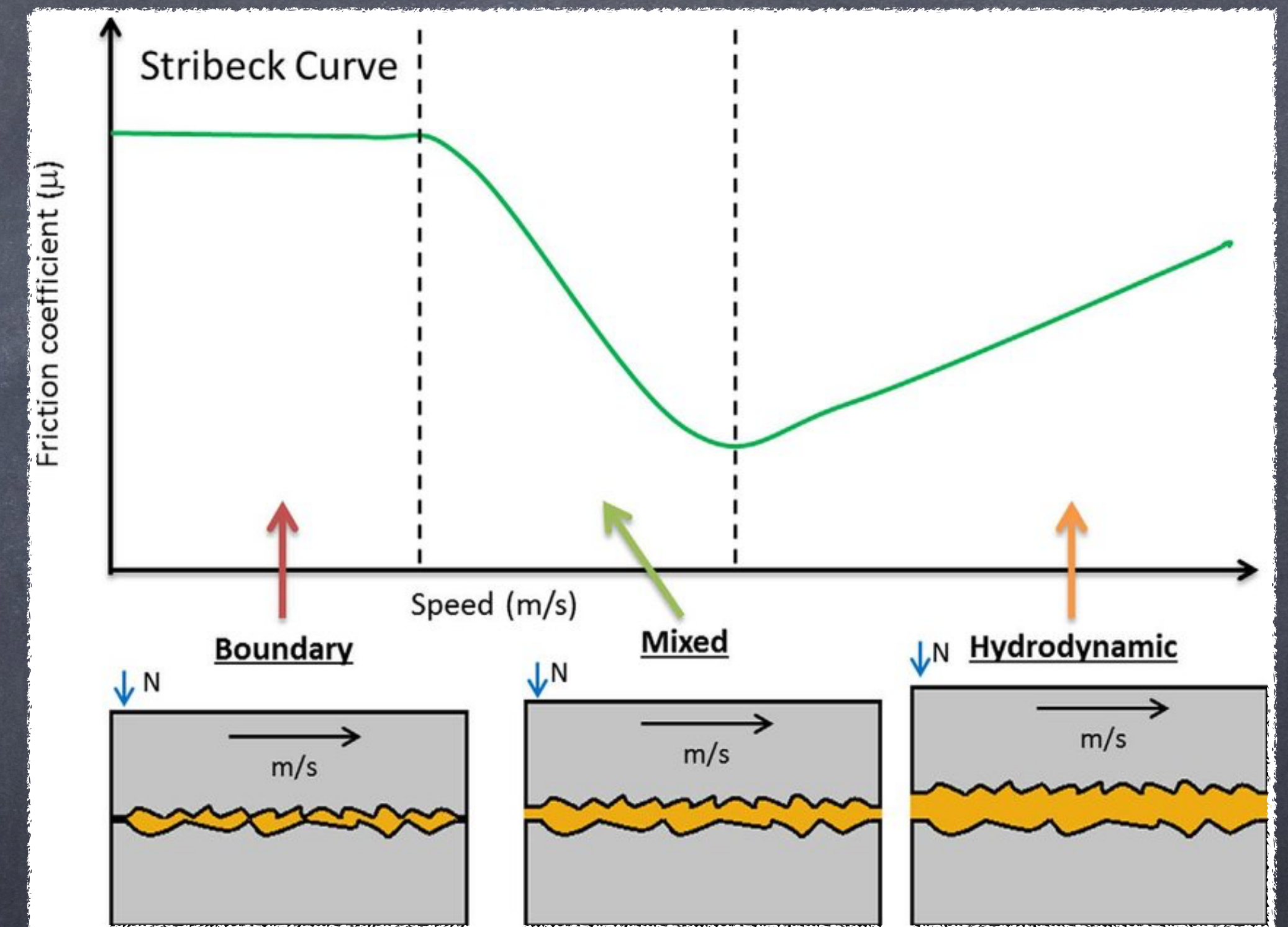
$$a[n]=(-k*x[n]-\text{gamma}*v[n]+f_k*F_n*\text{sgn}(u-v[n]))/m$$



$$m=1 \quad k=1 \quad \gamma=0 \quad x_0=0 \quad v_0=0$$
$$f_k=0.1 \quad f_s=0.3$$

nerovinné poznámky k treniu

- veľmi zaujímavým príkladom súhry statického a kinetického trenia je husľový sláčik (pozri napr. článok Čo tam robí sláčik? z knihy Jeden výdych koňa)
- závislosťou trenia od rôznych vecí, od ktorých v tých najjednoduchších prípadoch nezávisí (napr. rýchlosti) sa zaoberá celá jedna inžinierska oblasť, takzvaná tribológia



typická závislosť kinetického koeficientu trenia od rýchlosti

KONTAKTNÁ SILA

- Pri kontakte dvoch telies vznikajú komplikované elastické sily, ktoré sa často prejavujú len celkom nepatrnými deformáciami a ktorých výsledkom sú také sily, aby ani jedno teleso nepustilo to druhé teleso na svoje miesto.
- Všetelijaké podložky, mantinely, naklonené roviny a podobne teda vytvárajú také sily (elastickéj povahy), ktoré bránia iným telesám preniknúť dovnútra.

Čo sme sa naučili (veľmi dôležité zhrnutie)

- Pohyb telies vieme predpovedať metódou krok za krokom
- V tejto metóde potrebujeme poznať zrýchlenie a to získame zo zákona sily zapísaného ako $\vec{a} = \vec{F}/m$
- Na získanie zrýchlenia potrebujeme poznať pôsobiace sily. Tých nie je veľa. V podstate len gravitačná, elektrická a magnetická. Iné sily (trenie, odpor, pružnosť) sú vlastne iba dôsledkami elektrických síl. Vo všeobecnosti sú komplikované, ale často sú pomerne jednoduché. Nám v tomto kurze stačí vedieť predpovedať pohyb pre tie jednoduché prípady.

upútavka na záver

- Týmto je ukončená prvá časť kurzu mechaniky, venovaná metóde "krok za krokom"
- Nasledovať bude druhá časť, v ktorej sa naučíme riešiť Newtonovu pohybovú rovnicu (zákon sily) Newtonovou metódou "celý pohyb naraz". Pôjde o základnú a najdôležitejšiu matematickú metódu celej fyziky.