

## Atwoodov\* padostroj

Sastavio: Hrvoje Mesić

Uređaj koji se u udžbenicima fizike spominje pod nazivom *Atwoodov\* padostroj* ili samo padostroj osmišljen je u 18. stoljeću. No unatoč svojoj "starosti" on nikako nije zastario. Nastao je iz potrebe da se brzo gibanje tijela u slobodnom padu toliko uspori da se mogu promatrati i mjeriti, bez upotrebe satova velike točnosti, sve karakteristike gibanja pod djelovanjem stalne sile.

*Atwoodov padostroj* primjenjuje se u nastavi fizike kao demonstracijski uređaj kojim će nastavnik zorno ilustrirati i dokazati tvrdnje iz područja kinematike i dinamike o odnosima između sile, mase i ubrzanja. Također se uspješno primjenjuje kao laboratorijski uređaj za praktične vježbe u kojima učenici sami izvode pokuse i mjerenja.

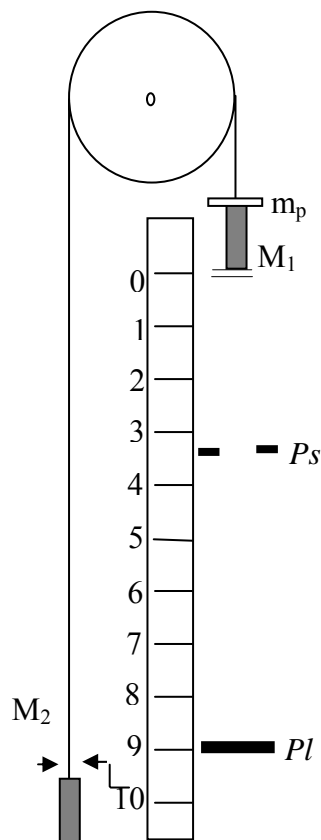
### Opis

Dva jednaka utega masa  $M_1$  i  $M_2$  vise na krajevima niti koja je prebačena preko lako okretljive koloture. Obje se ove mase nalaze u ravnoteži za bilo koji položaj. Mase  $M_1$  i  $M_2$  stavljaju se u pokret dodavanjem male mase pretega  $m_p$  na masu  $M_1$ . Duž vertikalne skale mogu se pomicati prsten  $Ps$  i pločica  $Pl$ . Prolaskom mase  $M_1$  kroz prsten s nje će se skinuti preteg jer je on širi od prstena, i čitav sustav će se nastaviti gibati jednoliko po pravcu (jer više nema sile) sve dok se ne zaustavi udarcem u pločicu  $Pl$ . Prije skidanja pretega gibanje je jednoliko ubrzano pod djelovanjem sile težine pretega.

Za rad s padostrojem neophodan je **metronom** koji će otkucavati pravilne vremenske razmake, a za neka mjerenja i zaporna ura ("štoperica").

Za vrijeme namještanja pretega i metronoma utezi miruju jer ih pridržava zapor  $Z$  na utegu  $M_2$ . Stariji modeli uređaja puštani su u pokret izmicanjem zapreke ispod utega  $M_1$  ali to je dovelo do ljuhanja utega i zapinjanja pri prolasku kroz prsten. Otpuštanje zapora na masi koja ne nosi preteg omogućuje miran i precizan rad uređaja.

Postoje uređaja opremljeno je vijcima za podešavanje okomitosti. Sam postupak podešavanja izvodi se tako da se prsten  $Ps$  spusti u najniži položaj i kroz njega dovede uteg  $M_1$  bez pretega, koji će poslužiti kao visak. Kada se pomoću vijaka namjesti da uteg  $M_1$  slobodno visi točno u sredini prstena uređaj je spreman za rad.



Dodatna oprema :

Za praktične vježbe i laboratorijska mjerenja izrađuju se dodatni pretezi različitih masa kako bi mogli primijeniti različite sile za ubrzanje iste mase utega. Također utezi  $M_1$  i  $M_2$  imaju s donje strane rupe s navojem u koje se mogu uvrtnuti dodatne mase, čime se dobiva mogućnost da ista sila ubrzava različite mase. Ta se dodatna oprema isporučuje na zahtjev kupca.

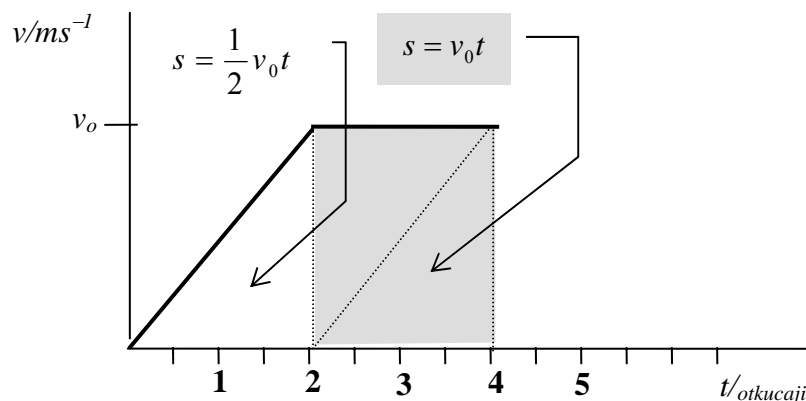
\* George Atwood, (1745. - 1807.) engl. matematičar, Prof. u Cambridgeu

**I. pokus** Na uteg  $M_1$ , koji pada, stavimo preteg od 2 g. Pločicu i prsten spustimo sasvim na dno mjerne skale. Na skali označimo položaje od 10 cm, 40 cm, 90 cm i 160 cm. Metronom udesimo tako da uteg stigne od oznake "0 cm" do oznake "160 cm" za četiri otkucaja. To namještanje metronoma treba učiniti prije izvođenja pokusa u razredu. Sam pokus izvodimo tako da prvo pustimo metronom da otkucava u namještenom taktu, zatim kad smo spremni počnemo odbrojavanje prateći takt metronoma: "tri!...dva!...jedan!...nula!" i na "nula!" otkočimo zapor koji drži utege u mirovanju, nastavljajući brojanje "jedan!...dva!...tri!...četiri!". Čuti ćemo da će metronom otkucavati upravo kad uteg u svom gibanju bude prolazio pored navedenih oznaka. Očito je da vrijedi ovisnost puta  $s$  o vremenu  $t$  za jednoliko ubrzano gibanje :

$$s = \frac{a}{2} t^2$$

Pokus možemo ponoviti i sa samo dvije oznake npr. "40 cm" i "160 cm", pa će se lako uočiti da za četiri puta duži put ne treba četiri nego dva puta duže vrijeme.

**II. pokus** Namjestimo prsten za skidanje pretega pored oznake npr. "40 cm" i do te oznake treba uteg s pretegom od 2 g stići za dva otkucaja metronoma. Jednoliko ubrzano gibanje pod djelovanjem sile težine pretega tu će prestati jer će prsten skinuti preteg i uteg će se dalje gibati jednolikom brzinom. Za slijedeća dva otkucaja metronoma uteg će stići do oznake "120 cm" što znači da je za isto vrijeme prešao put od 80 cm, tj. dvostruko više. Nakon ostavljanja pretega uteg se giba brzinom  $v_0$  koju je do tada postigao pa se ovisnost brzine o vremenu može grafički predočiti:



### Pokusi iz dinamike:

Pomoću padostroja možemo izvršiti ovjeru II Newtonovog aksioma, odnosno pokazati da je uz istu silu  $F = m_p a$  ubrzanje  $a$  obrnuto razmjerno masi. Ukupnu masu koja se ubrzava na padostroju čine mase utega  $M_1$  i  $M_2$  i masa samog pretega  $m_p$ , a sila koja ubrzava tu masu potječe samo od težine pretega, tj.

$$m_p \cdot g = (M_1 + M_2 + m_p) \cdot a$$

**III. pokus** Utezima  $M_1$  i  $M_2$  mogu se povećavati mase dodavanjem utega koji se isporučuju kao dodatna oprema. Ako raspoložemo takvim dodatnim utezima onda ćemo moći uz jedan te isti preteg ubrzavati različite mase. Na oba utega  $M_1$  i  $M_2$  treba dodavati jednake dodatne mase tako da uvijek budu u ravnoteži. Pokus izvodimo tako da istovremeno s otpuštanjem zapora koji drži utege u mirovanju pokrenemo zapornu uru i izmjerimo vrijeme potrebno da uteg  $M_1$  prijeđe put od oznake "0

cm" do pločice *Pl* koju možemo postaviti proizvoljno. Prsten *Ps* neka bude spušten posve uz pločicu. Udvostručimo li mase utega, uz isti preteg ubrzanje će biti upola manje, a možemo ga izračunati iz puta *s* i vremena *t*, tj. vrijedi :

$$a = \frac{2s}{t^2}$$

Ako nam masa utega nije poznata odredit ćemo je vaganjem uzimajući u obzir korekciju za moment tromosti koloture i trenja u ležaju koloture, trenja niti i trenja u gibanju kroz zrak.

**IV. pokus** Uteg  $M_2$  se može isporučiti u takvoj izvedbi da ima masu jednaku utegu  $M_1$ , ali da bude sastavljen od jednog velikog valjka i četiri kriške od kojih svaka ima masu 5 g. Kad su sve kriške na utegu  $M_2$  onda je čitav mehanizam u ravnoteži. Međutim ako prebacimo jednu krišku sa utega  $M_2$  na uteg  $M_1$  onda se njegova masa smanjila za 5 g, a utegu  $M_1$  porasla za isti iznos. Pa je prema tome nastala razlika u masi od 10 g i težina te razlike sad pokreće čitav mehanizam. Ako prebacimo još jednu krišku razlika u masi bit će 20 g. Vidimo dakle, da se na ovaj način može mijenjati sila koja pokreće mehanizam, a da pri tome ne mijenjamo samu količinu tvari koju ta sila ubrzava.. To nam omogućuje da ovjerimo II Newtonov aksiom koji kaže da će promjena brzine biti proporcionalna sili koja tijelu mijenja brzinu.

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1}{m} \cdot F$$

$$\Delta M \cdot g = (M_1 + M_2) \cdot a$$

**V. pokus** Iz dosad opisanih pokusa vidi se da će se sva mjerenja u vezi s Atwoodovim padostrojem, osim vaganja utega, svesti na točno mjerenje vremena i duljine prijeđenog puta. Mjerenja će biti točnija ako upotrijebimo tzv. "vibrator". Vibrator na jednoj papirnoj vrpici udaranjem preko indigo papira ostavlja trag u vidu točkice. Udarci vibratora po vrpici slijede svake 1/50 sekunde. Ako vrpca, koja se inače može lako provlačiti ispod batića vibratora, miruje sve će točkice biti na jednom mjestu na vrpici. Ali ako vrpca vučemo nekom brzinom točkice će biti razmaknute razmjerno brzini. Mjerenjem razmaka između točkica dobit ćemo put što ga je vrpca prešla unutar svake pedesetinke sekunde.

Uz padostroj se vibrator koristi tako da njegovu vrpca zaljepimo za uteg  $M_2$  koji ubrzava prema gore. Preteg sada može imati veću masu jer brzinu padanja ne pratimo ručno zapornim satom, što bi uključivalo velike pogreške zbog vremena naše reakcije, nego se trenutačni položaj automatski bilježi na vrpici.

**VI pokus** Uz padostroj se mogu posebno naručiti zapor *Z*, prsten *Ps* i pločica *Pl* koji su izvedeni tako da sadrže električne kontakte za priključivanje na elektronsku zapornu uru sa dva pokazivača vremena. Ura će početi mjerenje kad elektromagnet zapora *Z* otpusti utege, a zaustavit će mjerenje kad preteg  $m_p$  udari u prsten na kojem su kontakti. To će vrijeme biti ispisano na jednom displayu. Istovremeno sa skidanjem pretega počinje mjerenje vremena u jednolikom gibanju koje traje do udarca utega u pločicu *Pl*. To vrijeme bit će ispisano na drugom displayu.

**Atwoodov  
pado stroj**

