

# RAST PŠENICE POD UTJECAJEM EFEKTIVNE SILE TEŽE

---

**Brezničar, Luka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:160:099455>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-03**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



# RAST PŠENICE POD UTJECAJEM EFEKTIVNE SILE TEŽE

---

Brezničar, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:160:959878>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* 2023-10-12



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**ODJEL ZA FIZIKU**



**LUKA BREZNIČAR**

**RAST PŠENICE POD UTJECAJEM EFEKTIVNE  
SILE TEŽE**

**Završni rad**

**Osijek, 2023.**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**ODJEL ZA FIZIKU**



**LUKA BREZNIČAR**

**RAST PŠENICE POD UTJECAJEM EFEKTIVNE  
SILE TEŽE**

**Završni rad**

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

radi stjecanja zvanja prvostupnika fizike

**Osijek, 2023.**

II

**"Ovaj završni rad izrađen je u Osijeku pod vodstvom doc. dr. sc. Darija Hrupeca u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku".**

## **RAST PŠENICE POD UTJECAJEM EFEKTIVNE SILE TEŽE**

**LUKA BREZNIČAR**

### **Sažetak**

U ovom završnom radu, glavni cilj je potvrditi da je gravitacija jedan od glavnih čimbenika kako stabljika pšenice raste obzirom na položaj na Zemlji u kojoj je posađena izračunavanjem kuta između okomice na tanjur i smjera u kojem pšenica raste. Kako bi se to potvrdilo, žito pšenice je posijano na tri različita tanjura: tanjur koji je postavljen na mirnoj ravnini paralelno sa zemljinom površinom, tanjur postavljen na mirnoj kosini te tanjur koji je rotirao na gramofonu.

Eksperimentalni dio ovog završnog rada je pokazao kako gravitacija ima utjecaj na rast stabljike pšenice.

(20 stranica, 5 slika, 10 literaturnih navoda)

**Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku**

**Ključne riječi:** geotropizam, gravitacija, pšenica

**Mentor:** doc. dr. sc. Dario Hrupec

**Ocjenjivač:** doc. dr. sc. Dario Hrupec

**Rad prihvaćen:**

**GROWTH OF WHEAT UNDER THE INFLUENCE OF THE EFFECTIVE  
FORCE OF GRAVITY**

**LUKA BREZNIČAR**

**Abstract**

In this undergraduate thesis, the main objective is to demonstrate that gravity is one of the primary factors influencing the growth of wheat stems depending on their orientation on Earth's surface, by calculating the angle between perpendicular to the plate and the direction in which the wheat grows. In order to prove that, wheat seeds were sown on three different plates: a plate placed parallel to the Earth's surface, a plate positioned on a gentle slope, and a plate that rotated on a gramophone.

The experimental part of this final thesis has shown that gravity has an impact on the growth of wheat stems.

(20 pages, 5 figures, 10 references)

**Thesis deposited in Department of Physics library**

**Keywords:** geotropism, gravity, wheat

**Supervisor:** Dario Hrupec, Assistant Professor

**Reviewer:** Dario Hrupec, Assistant Professor

**Thesis accepted:**

## Sadržaj

1. Uvod .....	2
2. Gravitacija.....	3
2.1 Geotropizam.....	4
2.1.1 Cholodny–Wentov model.....	5
2.1.1 Geotropizam u izdancima .....	6
2.1.3 Primjena geotropizma u prirodi .....	7
2.2 Centripetalna sila.....	12
2.3 Sila teža.....	13
2.3.1 Efektivna sila teža .....	14
3. Mehanizmi rasta biljke osjetljivi na gravitacije .....	15
3.1 Statoliti.....	15
3.2 Modulacija fitokromom.....	16
4. Dodatak.....	17
4.1 Geotropizam u voćkama .....	17
5. Zaključak .....	18
6. Literatura.....	19
7. Životopis .....	20



## 1. Uvod

Pšenica je vrsta biljaka koja se na široko uzgaja zbog sjemena, žitarica koja je svjetska hrana. Ona je druga na ljestvici ukupne proizvodnje prinosa žitarica iza kukuruza.

Raste li pšenica pod pravim kutem s obzirom na tlo? U prirodi stabljika biljaka koje rastu na kosini je da ne raste u smjeru okomitom na podlogu u koju je biljka smještena nego u smjeru efektivne sile teže.

Danas se klasična teorija gravitacije naziva još i Newtonova, iz razloga što je 1687. godine prvi puta objavio svoju teoriju gravitacije u djelu „Mathematical Principles of Natural Philosophy“ poznatom i kao „Principia“. Knjiga se smatra jednom od najvažnijih djela u povijesti znanosti jer je Newton izjasnio „opći zakon gravitacije“ te zakone gibanja. On je ujedno svojim djelom započeo teoriju koja upravo opisuje kretanja makroskopski objekata, a naziva se klasična mehanika. Francuski matematički i fizičar Alexis Clairaut opisao ju je 1747. godine: "Čuvena knjiga matematičkih načela prirodne filozofije obilježila je epohu velike revolucije u fizici. Metoda koju je slijedio njen slavni autor Sir Newton ... proširila je svjetlo matematike na znanost koja je do tada ostala u mraku nagađanja i hipoteza“. Među ostalim postignućima, objašnjava Keplerove zakone planetarnog gibanja koje je Johannes Kepler prvi dobio empirijski.

## 2. Gravitacija

Newtonova tri zakona proučavaju silu koja djeluje na tijelo. Drugi Newtonov zakon opisuje ubrzano gibanje, tj. sila je uzrok zašto tijelo ubrzava. Newton je primjetio kako nema razlike između sile kojom Zemlja privlači jabuku sa stabla i sile koja djeluje između dva svemirska objekta. Tada je shvatio kako je gravitacija osnovno svojstvo mase. Kako bi detaljnije opisao međudjelovanje dva svemirska tijela, Sir Isaac Newton je tada pružio koherentno razumijevanje navedene sile pod nazivom „opći zakon gravitacije“. U navedenom zakonu je izjavio kako svaka čestica u svemiru djeluje određenom privlačnom silom na druge čestice. Čestice u prirodi su dovoljno male veličine da se smatraju materijalnom točkom pa formula kojom se opisuje Newtonov zakon gravitacije je:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Simbol  $G$  označava univerzalnu konstantu koja je iznosom jednaka,

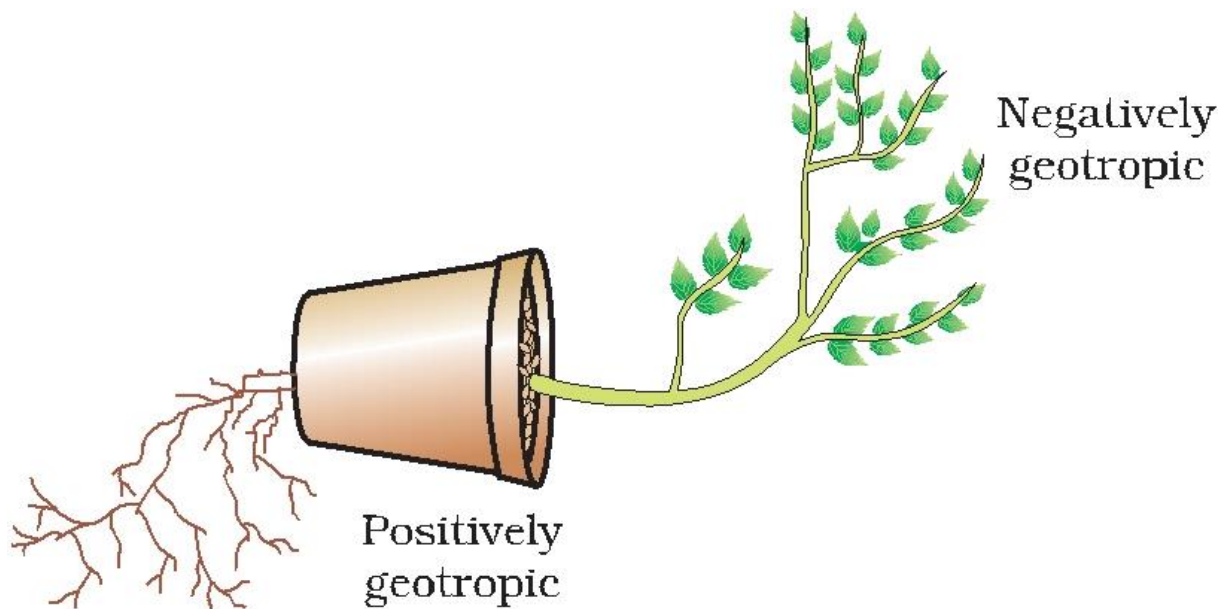
$$G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$$

Mase dvaju tijela označena su sa  $m_1$  i  $m_2$  te udaljenost između označena je slovom  $r$ .

Albert Einstein imao je drukčiji pristup razmišljanja o pojmu gravitacije. On je svoje razumijevanje gravitacije predstavio općom teorijom relativnosti koju je prvi puta objavio 1915. godine. Za razliku od Newtona, Einstein gravitaciju ne tumači kao silu, već kao posljedicu zakrivljenosti prostora i vremena zbog prisutnosti energije i mase tijela. Tako je prema Einsteinovoj općoj teoriji relativnosti, relativnost, prostor i vrijeme su povezani u jednu četverodimenzijalnu strukturu koja se još naziva i prostorvrijeme. Masivniji objekti kao što je planeti i zvijezde, zakrivljuju četverodimenzijalnu strukturu svojom prisutnošću. Kako masa i energija tijela u svemiru uzrokuju zakrivljenje prostoravremena oko sebe, objekti ne privlače druge tijela nekom silom, već zakrivljenjem prostoravremena stvaraju „udubljenja“ u koja drugi objekti „padaju“.

## 2.1 Geotropizam

Geotropizam je utjecaj gravitacije na koordinirani rast biljaka uključujući i gljive, složena je od riječi „geo“ – zemlja te „tropizam“ – pokret. Vrsta gravitacije može biti prirodna, tj. ona koju proizvodi planeta Zemlja ili umjetna, ona koja se dobije rotacijom kao što je rotacija tanjura pšenice na gramofonu. Drugi naziv je gravitropizam jer gravitacija ima veliku ulogu pri rastu biljke. Gornji dio, koji se sastoji od stabljike i listova raste u smjeru suprotnom od djelovanja sile teže tj. uspravno prema gore. Takav naziv je još poznat pod terminom „negativni geotropizam“, dok donji dio, točnije korijen, raste prema dolje, taj naziv je još poznat kao i „pozitivni geotropizam“. Prvi je navedene pojmove uveo Charles Darwin.



Slika 1. Ilustracija rasta stabljike i biljke na kosini – pojava geotropizma (izvor: [https://biologija-gimnazija.weebly.com/uploads/2/5/5/6/25565957/tumblr-inline-nlix4vvszlr440ih-1280\\_orig.png](https://biologija-gimnazija.weebly.com/uploads/2/5/5/6/25565957/tumblr-inline-nlix4vvszlr440ih-1280_orig.png))

Geotropizam ima tri faze odvijanja:

1. **Otkrivanje:** kako bi biljka rasla u suprotnom smjeru od smjera gravitacije, za takvu ulogu su potrebne specijalizirane stanice nazvane „statociste“.
2. **Transdukcija i prijenos:** ova faza objašnjava ulogu gravitacije na biljku koja svojim utjecajem šalje biokemijske signale biljci.
3. **Odgovor:** nakon prethodne faze, stanice koje se nalazi u stabljici primanjem signala rastu u suprotnom smjeru od smjera gravitacije, a stanice u korijenu usmjeravaju korijen u smjeru gravitacije.

Zeljaste ili nedrvenaste stabljike su sposobne za određeni stupanj stalnog savijanja, ali većina preusmjerenog kretanja događa se kao posljedica rasta korijena ili stabljike izvana. U botanici, Cholodny–Went model je upravo model na kojem se bazira objašnjavanje navedenog kretanja biljaka. [10]

### **2.1.1 Cholodny–Wentov model**

Tropizam je biološki fenomen koji se odnosi na reakciju biljaka na vanjske podražaje usmjerenjem svojih organa prema ili podalje od tih podražaja. Takva reakcija omogućava biljkama prilagodbu na okoliš te maksimalnu sposobnost rasta i preživljavanja. Određena vrsta tropizma ovisi o faktoru koji uzrokuje usmjerenje rasta biljke, to može biti već navedena gravitacija pa se zove gravitropizam, fototropizam (svijetlo), kemotropizam (kemijski podražaji), termotropizam (temperaturu), elektropizam (električno polje) itd. [4], [5]

Cholodny–Went model je model koji opisuje tropizam u novonastalim izbojcima jednosupica, uključujući tendenciju da izdanci rastu prema svijetlu (fototropizam), a korijenje raste prema dolje (gravitropizam). Kako bi se to objasnilo, smatra se da je usmjereni rast u oba slučaja, posljedica asimetrične raspodjele On je bio predložen 1927. godine te od tada modificiran.

Taj model su, neovisno jedan o drugom, opisala dva znanstvenika: Nikolai Cholodny i Fritz Warmolt Went. Nikolai Cholodny bio je ruski znanstvenik koji je radio na sveučilištu u glavnom gradu današnje države Ukrajine, Kijevu, dok je Fritz Went bio nizozemski biolog koji je, nakon diplomiranja 1927. godine u Utrechtu, u Nizozemskoj, sa znanstvenom tezom o učincima biljnog hormona auksina, radio kao biljni patalog u istraživačkom laboratoriju „Royal Botanical Garden“ u Bogor, današnjoj Indoneziji, od 1927. do 1933. godine. [7]

### 2.1.1 Geotropizam u izdancima

U biologiji je već poznato da se rast korijena događa dijeljenjem zametnih stanica u korijenovom meristemu koji se nalazi na vrhu korijena. Zona produljenja naziva se naknadno asimetrično širenje stanica u području izdanka. U slučaju promjene orijentacije s obzirom na orijentaciju gravitacijskog polja, stanice mogu reagirati na promjenu svoje veličine tako da vrh korijena nastavlja rasti u istom smjeru kao i smjer gravitacije. Gravitropizam prati rast i razvoj biljaka kao i fototropizam.

Dok amiloplasti<sup>1</sup> stimuliraju rast biljke, biljni organi se oslanjaju na fototropne odgovore kako bi osigurali listovima dovoljnu količinu svjetla za obavljanje funkcija fotosinteze. U kompletnoj tami, odrasle biljke, ako su u mogućnosti rasta, uglavnom rastu u smjeru okomitom na podlogu, dok se sadnice mogu orijentirati tako da mladice ili izdanci rastu uspravno prema gore sve dok svjetlo ne dođe do biljke kada može početi razvoj i orijentacija prema svjetlu.

---

<sup>1</sup> Posebna vrsta plastida, leukoplasta, podkategorija bezbojnih plastida koji ne sadrže pigment

### 2.1.3 Primjena geotropizma u prirodi

Geotropizam se lako može pokazati pomoću žitarice pšenice. Kada bismo posadili pšenicu na mirnoj horizontalnoj podlozi, lako se možemo uvjeriti da će pšenica rasti suprotne orijentacije od orijentacije sile teže.



Slika 2. Rast pšenice na mirnoj horizontalnoj podlozi (izvor: Luka Brezničar)

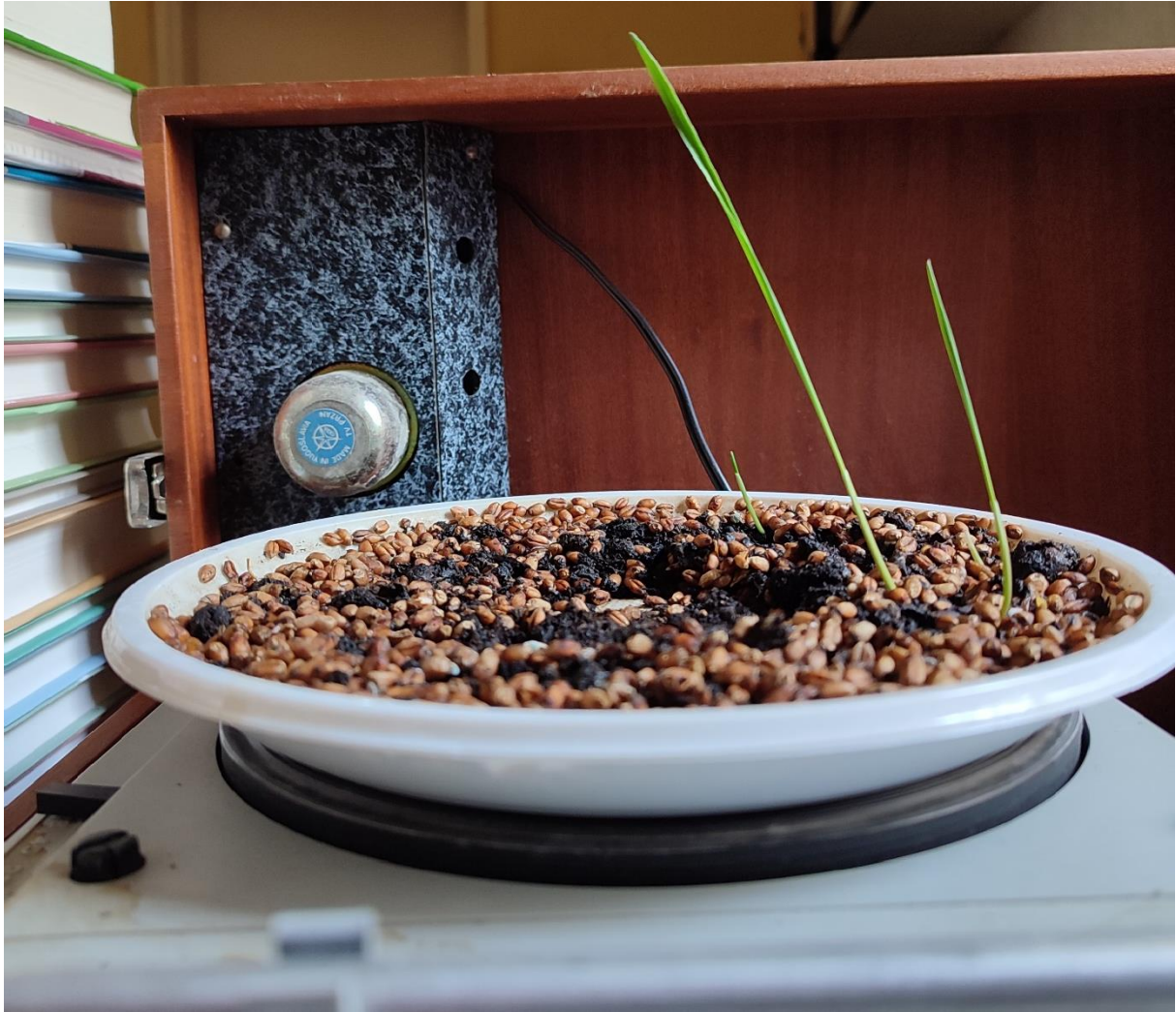
Ali ako bi pšenice posadili na mirnoj kosini, iz prethodno objašnjene definicije geotropizma se može shvatiti kako će stabljika, bez obzira na kut nagiba podloge, rasti u istom smjeru kao i na mirnoj podlozi – suprotno od sile teže.



Slika 3. Rast pšenice na mirnoj kosini (izvor: Luka Brezničar)

Jedan dio pokusa se izvodio na gramofonskoj ploči. Na slici 5. je prikaz pšenice koja raste na horizontalnoj podlozi koja je postavljena na gramofonsku plohu, a ploha se okreće frekvencijom 78 okretaja po minuti. Umjesto dodanih 20 ml dnevno, povećala se količina dodane vode na 200 ml, tada je pšenica počela rasti prema centru osi rotacije.





Slika 4. Prikaz pšenice koja raste na rotirajućoj gramofonskoj plohi (Izvor: Luka Brezničar)

Kako bi shvatili ovisnost kuta nagiba prema osi rotacije, raspisujemo trigonometrijsku funkciju tangensa kuta između efektivne sile teže i centrifugalne sile.

$$\tan(\alpha) = \frac{F_{CF}}{G} = \frac{m \cdot v^2}{m \cdot g \cdot r} = \frac{v^2}{g \cdot r}$$

Raspisivanjem tangecijalne brzine  $v = \omega \cdot r$ , dobivamo:

$$\tan(\alpha) = \frac{\omega^2 \cdot r^2}{g \cdot r} = \frac{\omega^2 \cdot r}{g}$$

Onda raspisujemo  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , gdje je  $T$  period rotacije, on se također može, radi lakšeg

izračunavanja kuta, raspisati preko frekvencije  $T = \frac{1}{\nu}$



$$\tan(\alpha) = \frac{r}{g} \cdot (2\pi \cdot v)^2$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left[\frac{r}{g} \cdot (2\pi \cdot v)^2\right]$$

$r$  – polumjer tanjura na kojem pšenica rotira

$g$  – konstantno ubrzanje Zemlje

$v$  – frekvencija rotacije

Za dobivanje kuta, izmjerene su sve tri prethodno navedene veličine:

$$r = 10.2 \text{ cm}, g = 9,81 \text{ m/s}^2, v = 78 \text{ okretaja/min} = \frac{13}{10} \text{ s}^{-1}$$

Uvrštavanjem svih izračunatih podataka u formulu za kut, dobivamo da je kut između centrifugalne sile i efektivne sile teže iznosa

$$\alpha = 34^\circ$$

U provedenim mjerenjima koja su izvedena pomoću kutomjera, dobili su se sljedeći rezultati:

	1.	2.	3.	4.	5.
$\alpha_1$	55°	51°	50°	55°	54°
$\alpha_2$	20°	22°	19°	25°	22°
$\alpha_3$	34°	35°	38°	42°	38°

Tablica 1: Mjerenja (Izvor: Luka Brezničar)

LEGENDA:

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  predstavljaju kutove između okomice i smjera rasta pojedine stabljike narasle pšenice.

Brojevi 1., 2., 3., 4. i 5. označavaju mjerenja kuta odstupanja od okomice na podlogu

	A	B	C	D
$\alpha_1$	53°	37°	16°	15°
$\alpha_2$	22°		15°	
$\alpha_3$	37°		0°	

Tablica 2: Izračuni nakon mjerenja (Izvor: Luka Brezničar)

LEGENDA:

A – prosjek mjerenja kuta pojedinih stabljika

$$\bar{x}_z = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, z = 1,2,3$$

B – prosjek mjerenja kuta po svim stabljikama

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \alpha_i$$

C - apsolutna pogreška pojedinog mjerenja

$$\Delta\alpha_n = |\bar{\alpha} - \alpha_n|$$

D – srednja kvadratna pogreška (standardna devijacija) pojedinih mjerenja

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta\alpha_n)^2}{n-1}}$$

Ovim mjerenjima se dobio konačan rezultat kuta između okomice i smjera rasta stabljika pšenice:

$$\alpha = (37 \pm 15)^\circ$$

## 2.2 Centripetalna sila

Centripetalna sila je odgovorna za kružno gibanje tijela. Ova sila djeluje prema centru rotacije i održava tijelo na kružnoj putanji. Centripetalna sila je nužna za održavanje bilo kojeg objekta u kružnom gibanju. Kada tijelo mijenja smjer, ubrzava ili usporava kako bi pratilo zakrivljenu stazu, centripetalna sila je odgovorna za ovu promjenu brzine i smjera. Za razliku od centripetalne, centrifugalna sila je inercijska sila u rotacijskom sustavu na tijelo koje se rotira stalnom kutnom brzinom, ali ima smjer normale na putanju. Centrifugalna sila je orijentirana od središta vrtnje, jer inercijska sila ima orijentaciju suprotnu od ubrzanja sustava. Iznos centrifugalne sile  $F_C$  proporcionalan je masi tijela  $m$  i kvadratu njegove obodne brzine  $v$ , a obrnuto je proporcionalan udaljenosti tijela od središta vrtnje  $r$ .

$$F_C = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

U svijetu postoje mnogi svakodnevni primjeri centripetalne sile, a jedan je od najpoznatijih rad perilice rublja. Prilikom vrtnje, događa se tzv. „centrifuga“, tj. zbog velike brzine vrtnje, odjeća koja bude puna vode ostaje u bubnju, a voda se odvoji na temelju njihove gustoće. U medicini se isto može primijeniti fenomen centrifuge, kada se treba analizirati sastav krvi, pomoću centrifuge se lako krvne stanice odvajaju od seruma (krvna tekućina u kojoj plivaju krvne stanice). [9] [10]

## 2.3 Sila teža

Sila teža je rezultanta gravitacijske privlačne sile Zemlje i centrifugalne sile zbog Zemljine rotacije. Sila teža uvijek ima smjer prema središtu Zemlje. Kada je neko tijelo izbačeno prvom kozmičkom brzinom, sila teža može imati i ulogu centripetalne sile kada je glavna riječ o planeti Zemlji ili o bilo kojem drugom planetu ili zvijezdi koja ima određenu vrijednost gravitacije. Kako bi se izračunala sila kojom Zemlja privlači neko tijelo mase  $m$ , je jednaka

$$F = m \cdot g$$

gdje je  $g$  ubrzanje sile teže.

Sila teža nije ista na svakom dijelu svemirskog tijela ili zvijezde jer ubrzanje sile teže nije jednako na svakom dijelu planeta ili zvijezde. To nisu savršene kugle već su oblika bližeg geoidu. Na ekvatoru je sila teža najmanja, dok je na polovima sila teža najveća. Osim na samom planetu ili zvijezdi, ubrzanje sile teže je specifično za svaki planet. Kako bi se to objasnilo, u nebeskoj mehanici je dovoljno pretpostaviti da su nebeska tijela materijalne točke, koje zbog njihovih masa djeluju jedna na drugu. Može se dokazati, kao što je i Newton, da svaka homogena kuglasta masa, djeluje na bilo koje tijelo istom silom kojom bi djelovala da je sva njezina masa koncentrirana u središtu kugle. Tako da izjednačavanjem sile teže sa formulom koja objašnjava Newtonov zakon gravitacije, može se izračunati ubrzanje sile teže za pojedini planet.

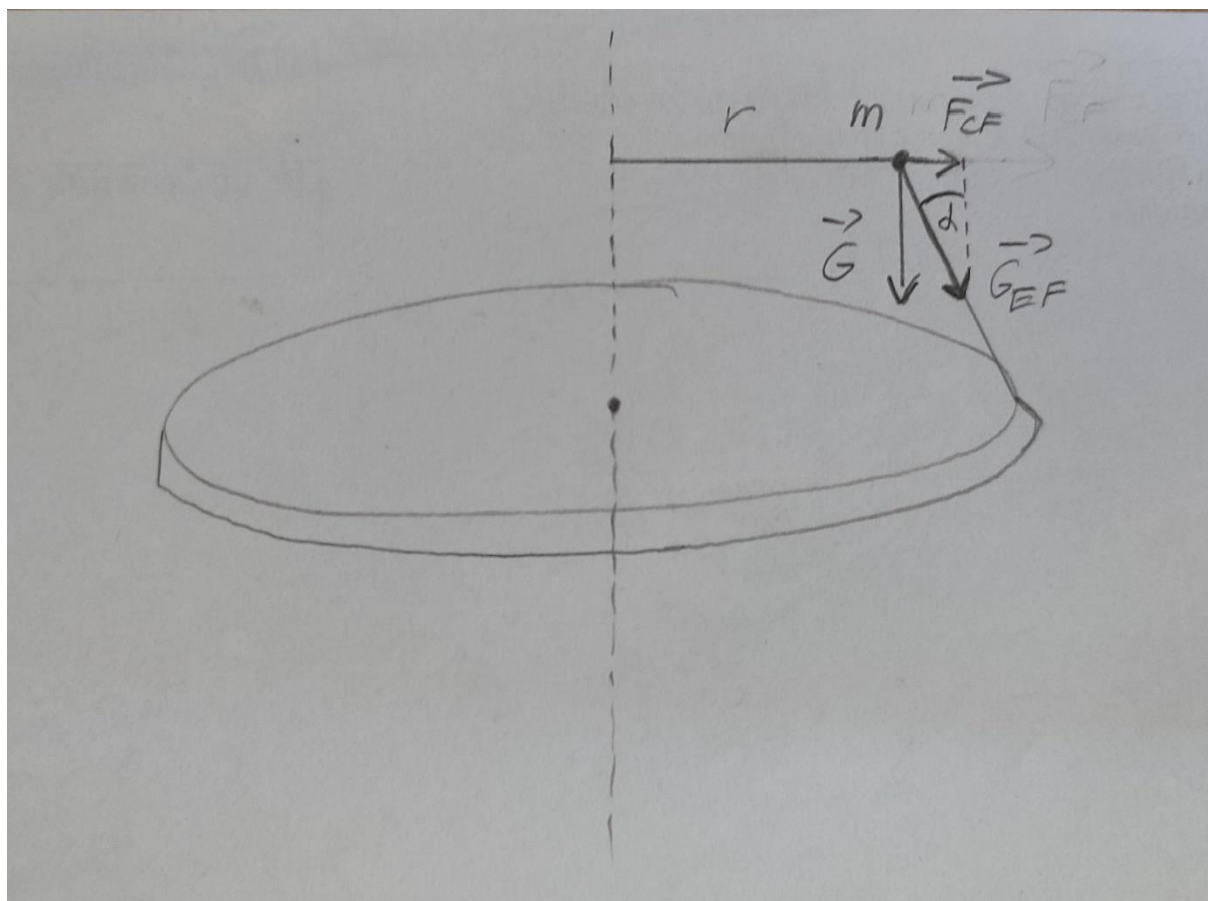
$$m \cdot g = G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2}$$

$$g = G \cdot \frac{M}{R^2}$$

Kako bi izračunali ubrzanje sile teže pojedinog planeta, potrebno je znati masu toga planeta, koja je u formuli označena slovom  $M$ , te polumjerom, označenim slovom  $R$ . [9]

### 2.3.1 Efektivna sila teža

Efektivna sila teža  $G_{EF}$  je sila kojom je smjer određen vektorskim zbrojem težine i centrifugalne sile. Pretpostavka je da kada se pšenica posije na podlogu koja rotira (npr. na gramofonu) tada bi smjer efektivne sile teže bio nagnut prema osi rotacije, a ne suprotno. Kada bi pšenica rasla na mirnoj horizontalnoj podlozi, rasla bi okomito na podlogu, ali uz prisutnost centrifugalne sile  $F_{CF}$ , pšenica će rasti nagnuta prema središtu upravo zbog vektorskog zbroja kao što je prikazano na slici 5. Što je veća centrifugalna sila, to je kut između efektivne sile teže o centrifugalne sile veći, tj. to je veći nagib biljke prema središtu rotacije. Težina predmeta  $G$  na Zemlji ili iznad Zemlje je gravitacijska sila kojom Zemlja djeluje na predmet. Težina uvijek djeluje prema dolje, prema središtu Zemlje. Na ili iznad drugog astronomskog tijela, težina je gravitacijska sila na astronomskom tijelu na kojem se predmet nalazi. Mjerna jedinica za težinu, kao i za efektivnu silu težu je newton (oznaka N).



Slika 5: Skica prikaza efektivne sile teže (Izvor: Luka Brezničar)

### 3. Mehanizmi rasta biljke osjetljivi na gravitacije

Biljke posjeduju dva mehanizma koji su osjetljivi na gravitaciju:

1. pomoću statolita
2. modulacijom fitokromom.

#### 3.1 Statoliti

Jedan od načina biljne orijentacije rasta u smjeru suprotnom od smjera sile teže su statoliti, gusti amiloplasti odnosno organele koje sintetiziraju i pohranjuju škrob koji sudjeluje u percepciji gravitacije. Takve specijalizirane stanice se nazivaju statociti. Oni su smješteni u stanicama škrobnog parenhima blizu krvožilnog tkiva u izbojcima i u kolumni u klobucima korijena. Specifični su jer su gušći od citoplazme i mogu se taložiti u smjeru gravitacije. Statoliti su upleteni u mrežu aktina i smatra se da njihova sedimentacija prenosi gravitacijski signal aktiviranjem mehaničko - osjetilnih organa. Tada gravitropski signal dovodi do preusmjerenja nosača efluksa<sup>2</sup> auksina i naknadne preraspodjele tokova auksina u korijenovoj kapi i korijenu u cjelini. Auksin ima sposobnost kretanja prema višim koncentracijama na donjem dijelu korijena (dio bliži središtu Zemlje) i potiče istežanje biljke. Asimetrična raspodjela auksina uzrokuje savijanje korijena zbog različitog rasta korijena te tada u tom slučaju korijen slijedi podražaje gravitacije. Statoliti se mogu nalaziti i u endotermnom sloju hipokotila, stabljika i cvata.

---

<sup>2</sup> U mikrobiologiji, premještanje niza različitih spojeva iz stanica poput antibiotika, teških metala itd...

## 3.2 Modulacija fitokromom

Fitokromi su klasa crvenih fotoreceptorskih proteina koji se nalaze u biljkama, bakterijama i gljivama. Oni pomažu indicirati promjene u određenim aspektima razvoja biljaka, ali i svjetlost može potisnuti gravitropsku reakciju. Crveno svjetlo inhibira negativan gravitropizam u hipokotilu<sup>3</sup> sjemenke uzrokujući rast u nasumičnim smjerovima. Međutim, hipokotil se može lako orijentirati prema plavoj svjetlosti. Kako fitokrom ometa stvaranje endodermalnih amiloplasta ispunjenih škrobom, navedeni proces spriječavanja negativnog gravitropizma može biti time uzrokovan i tada potiče njihovu pretvorbu u druge vrste plastida kao što su kloroplasti ili etioplasti. [8]

Nedavni napredak ukazuje na to da fitokromi djeluju i kao temperaturni senzori, budući da što je viša temperatura, to je njihova deaktivacija uspješnija. Činjenica da je struktura fitokroma proteinska, što omogućuje deaktivaciju, te reakcija na svjetlost u crvenom području su čimbenici ključni za sposobnost klijanja biljke. Fitokrom je bitan jer kontrolira mnoge aspekte ravoja biljaka, kao što su: reguliranje klijanja sjemenaka, sinteza klorofila, veličina, oblik, broj listova te kretanje listova i vrijeme cvjetanja kod odraslih biljaka. Oni su široko rasprostranjeni u mnogim tkivima i razvojnim fazama.

---

<sup>3</sup> Područje izdanaka ispod kotiledona

## **4. Dodatak**

### **4.1 Geotropizam u voćkama**

Nekoliko vrsta voća pokazuje negativan gravitropizam poput banana koje su najpoznatiji primjer. Nakon što se krošnja koja prekriva voće osuši, banane će se početi savijati prema gore, prema sunčevoj svjetlosti. Auksin i u bananama ima ulogu poticanja zakrivljenosti prema svjetlosti. Kada je banana prvi put izložena sunčevoj svjetlosti nakon što se krošnja osuši, jedna strana ploda je zasjenjena. Pri izlaganju sunčevoj svjetlosti, auksin u banani migrira sa strane sunčeve svjetlosti na stranu u sjeni. Pošto je auksin snažni hormon rasta, iz toga razloga, povećana koncentracija potiče diobu stanica i uzrokuje rast biljnih stanica na zasjenjenoj strani. Ova asimetrična raspodjela auksina odgovorna je za zakrivljenost banane prema gore.



## 5. Zaključak

Ljudi su primjetili da biljke, kao i neke voćke i gljive, mogu rasti uspravno prema gore, u smjeru suprotnom od smjera sile teže.

Postoje dva načina gledišta na gravitacije: Newtonova definicija i Einsteinova definicija gravitacije. Obje teoriju imaju čvrste argumente zašto se planeti, zvijezde, tijela na Zemlji kao i na ostalim planetama i zvijezdama privlače ili odbijaju. Keplerovi zakoni nisu bili temelj definiranja gravitacije, stoga je Newton svojom teorijom detaljnije opisao Keplerove zakone, koji opisuju gibanja planeta, da bi definirao gravitaciju.

Einsteinova teorija opće relativnosti, koja je predstavljena početkom 20. stoljeća, zamijenila je Newtonovu teoriju gravitacije kao vodeći model za opisivanje gravitacije. Međutim, Newtonova teorija gravitacije još uvijek ostaje važna i korisna teorija za mnoge praktične primjene fizičkih problema, dok se Einsteinova teorija primjenjuje u situacijama gdje je potrebna veća preciznosti, posebno na astronomske i kozmičke skale.

Gravitacija u svemiru uzrokuje:

1. orbitalno gibanje tijela kao i planete u orbitama oko svojih zvijezda,
2. održava satelite u orbitama oko njihovih planeta poput Mjeseca oko Zemlje
3. i održavanje planeta Sunčevog sustava oko Sunca.

Također, gravitacija može uzrokovati interakcije između tijela u svemiru, poput privlačenja i sudara asteroida. Gravitacija ostaje ključno područje istraživanja i izvor fascinacije za znanstvenike i ljude diljem svijeta.

Zbog toga što je poznato da su biljke izuzetno osjetljive na okoliš, pšenica u trećem tanjuru, koja je rotirala na gramofonskoj ploči, rasla je dodatkom 10 puta veće količine vode nego kod pšenice u tanjurima koji su stajali na mirnoj podlozi (horizontalno i da kosini). Ostali uvjeti (temperatura, svjetlost) bili su jednaki za sva tri tanjura.

## 6. Literatura

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Armillary\\_sphere](https://en.wikipedia.org/wiki/Armillary_sphere) [27.9.2023]
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Eratosthenes> [27.9.2023]
- [3] <https://hr.thpanorama.com/articles/biologa/qu-es-el-geotropismo-o-gravitropismo.html>  
[27.9.2023]
- [4] <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=62457> [27.9.2023]
- [5] <https://www.biologyonline.com/dictionary/tropism> [28.9.2023]
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Cholodny%E2%80%93Went\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/Cholodny%E2%80%93Went_model) [28.9.2023]
- [7] [https://en.wikipedia.org/wiki/Cholodny%E2%80%93Went\\_model#:~:text=In%20botany%2C%20the%20Cholodny%E2%80%93Went,to%20grow%20downward%20\(gravitropism\).](https://en.wikipedia.org/wiki/Cholodny%E2%80%93Went_model#:~:text=In%20botany%2C%20the%20Cholodny%E2%80%93Went,to%20grow%20downward%20(gravitropism).)  
[28.9.2023]
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitropism> [27.9.2023]
- [9] Charles Darwin, The power of movement in plants, D. Appleton and Company, New York, (1881), page 93-95, 132-134
- [10] Dario Hrupec, Dubravko Horvat, Fizika 1, Element, Zagreb, (2019), page 93-94

## **7. Životopis**

Luka Brezničar rođen je 15. srpnja 2000. godine u Osijeku. Pohađao je osnovnu školu „Svete Ane“ u Osijeku te je završetkom upisao I. gimnaziju u Osijeku. Godine 2019. je završio srednju školu te je iste godine svoje obrazovanje nastavio upisom na preddiplomski studij fizike na Odjelu za fiziku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.