Eesti koolinoorte 44. füüsikaolümpiaadi II voor
15. veebruar 1997. a.
Keskkooli ülesannete lahendused

1. ülesanne

Erinevad tekkepõhjused; üks on risti- teine pikilaine; ühel on 2 komponenti ja teisel üks komponent; erinevad on sageduspiirkonnad; ühte saab registreerida silma, teist kõrva abil jne.

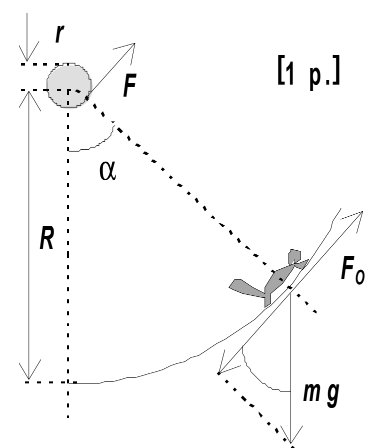
2. ülesanne

Õige joonte arv: 6 spektrijoont [**1 p.**]; õige maksimaalne kvandienergia: 4 → 1 [**1 p.**], õige minimaalne kvandienergia (peab teadma energiatasemete tiheduse jaotust): 4 → 3 [**1 p.**].

3. ülesanne

Vaatleme ajaühikus Δt alla libiseva nööriosa poolt saadavat impulssi. Ühest küljest on see $a\ g\ h\ \Delta t$ [**2 p.**], kus a on nööri joontihedus, teisest küljest aga antakse ajavahemiku Δt jooksul nöörijupile pikkusega $v\ \Delta t$ kiirus v, s.o. vastav impulss on $a\ v^{2} \Delta t$ [**2 p.**]. Niisiis $v = (g\ L)^{1/2}$ [**1 p.**]. Juhime tähelepanu asjaolule, et energiaga lahendus ja vastus $v = (2\ g\ L)^{1/2}$ ei ole õige, sest nööri liikuma tõmbamisel hajub temas soojust (tekib kas plastne deformatsioon või võnkumised, mis sumbuvad) [**1 p.**].

4. ülesanne



Tähistused: F_o — orava poolt arendatav jõud; m — orava mass; g — vaba langemise kiirendus; F — laagrite takistusjõudude summa; r — laagrite takistusjõudude õlg; R — ratta raadius; α — oravat ja laagrit ühendava sirge ning vertikaali vaheline nurk.

Antud: $m = 200\ g$, $R = 1\ m$, $F = 10\ N$, $r = 5\ cm$, $g = 9{,}8\ m/s^2$.

Lahendus:

Orav joostes kõigest väest suudab tasakaalustada raskujõu komponenti $m\ g\ \sin\alpha$.

$$F_O R = Fr \Rightarrow F_O = \frac{r}{R} \cdot F\ [\mathbf{2\ p.}];\ F_O = mg \sin\alpha\ [\mathbf{2\ p.}]$$

$$\frac{r}{R} \cdot F = mg \sin\alpha \Rightarrow$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{Fr}{mgR}\right) = \arcsin\left(\frac{0{,}05 \cdot 10}{0{,}2 \cdot 1 \cdot 9{,}8}\right) = 14^\circ 46'\ [\mathbf{1\ p.}]$$

Vastus: Oravat ja laagrit ühendava sirge ning vertikaali vaheline nurk on *14°46'*.

5. ülesanne

Tähistused: U — pinge takistil; R — takisti takistus; I — takistit läbiv elektrivool; Δt — ajavahemik; e — elementaarlaeng; q, n — laeng ja elektronide arv, mis läbivad takistit ajavahemiku Δt jooksul.

Antud: $U = 9\ V$, $\Delta t = 1\ s$, $R = 100\ \Omega$, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$.

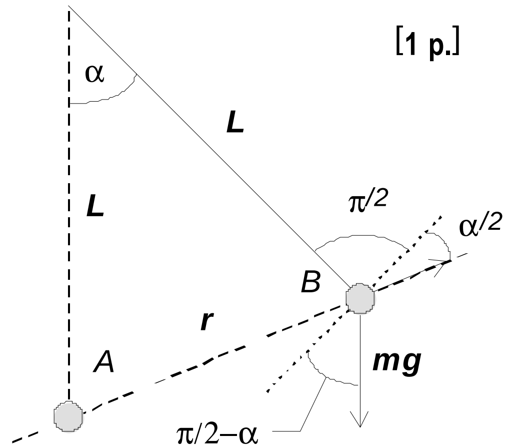
Lahendus:

$$I = \frac{U}{R} \ [\mathbf{2\ p.}]\ ;\ I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \ [\mathbf{2\ p.}]\ ;\ n = \frac{\Delta q}{e} \ [\mathbf{2\ p.}]$$

$$\Rightarrow\ n = \frac{I\Delta t}{e} = \frac{U\Delta t}{eR} = \frac{9 \cdot 100}{100 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} \approx 5{,}6 \cdot 10^{17} \ [\mathbf{2\ p.}]$$

<u>Vastus</u>*:* Kiirgusallikas kiirgab sekundis $5{,}6 \cdot 10^{17}$ elektroni.

6. ülesanne



<u>Tähistused</u>*:* ***L*** — niidi pikkus; ***q*** — kuulikeste laengud; α — niidi ja vertikaali vaheline nurk; ***m*** — kuulikese *B* mass; ***r*** — kuulikeste vaheline kaugus; $\boldsymbol{F_C}$ — kuulikesele *B* mõjuva elektrostaatilise jõu projektsioon niidiga risti olevale teljele; $\boldsymbol{F_G}$ — kuulikesele B mõjuva raskusjõu projektsioon niidiga risti olevale teljele; ε_0 — vaakumi dielektriline läbitavus; ***g*** — vaba langemise kiirendus.

<u>Antud</u>*:* ***q*** *,* ***m*** *,* ***L*** *,* ***g*** *.*

<u>Lahendus</u>*:*

Leiame kuulikesele *B* mõjuvate jõudude tasakaalu tingimuse niidiga risti oleva telje sihis.

$$r = 2L\sin\frac{\alpha}{2} \ [\mathbf{1\ p.}]\ ;\ F_C = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\cdot\cos\frac{\alpha}{2} = \frac{q^2}{16\pi\varepsilon_0 L^2 \sin^2\frac{\alpha}{2}}\cdot\cos\frac{\alpha}{2} \ [\mathbf{2\ p.}]$$

$$F_G = mg\cos\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right) = mg\sin\alpha = 2mg\sin\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\alpha}{2} \ [\mathbf{2\ p.}]$$

$$F_C = F_R \ \Rightarrow\ \frac{q^2}{16\pi\varepsilon_0 L^2 \sin^2\frac{\alpha}{2}}\cdot\cos\frac{\alpha}{2} = 2mg\sin\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\alpha}{2} \ [\mathbf{1\ p.}]$$

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \left(\frac{q^2}{32\pi\varepsilon_0 L^2 mg}\right)^{1/3} \ \Rightarrow\ \alpha = 2\arcsin\left(\left(\frac{q^2}{32\pi\varepsilon_0 L^2 mg}\right)^{1/3}\right) [\mathbf{1\ p.}]$$

<u>Vastus</u>*:* Niidi ja vertikaali vaheline nurk on *2* **arcsin** *((* ***q*** ^{2} */ 32* π€ε_0 ***L*** ^{2} ***m g*** *)* $^{1/3}$ *) .*

7. ülesanne

<u>Tähistused</u>*:* ***m*** — auto mass; ***v*** — auto kiirus; ***R*** — kurvi raadius; ***b*** — auto rataste vaheline kaugus; ***h*** — auto masskeskme kõrgus maapinnast; μ — auto rataste ja maapinna vaheline hõõrdetegur.

<u>Antud</u>*:* ***R*** *,* ***h*** *,* ***b*** *,* μ *,* ***g*** *.*

<u>Lahendus</u>*:*

Olgu autole kurvis mõjuv tsentrifugaaljõud võrdne liugehõõrdejõuga, siis autot külili pöörav jõumoment on μ€***m g h*** [**1 p.**], õigesse asendisse pöörav jõumoment on ***m g b*** */ 2* [**1 p.**]. Seega, kui μ€***h*** > ***b*** */ 2*, siis paiskub auto suurtel kiirustel ümber, kui aga μ€***h*** < ***b*** / 2, hakkab külgsuunas libisema [**2 p.**].

Esimesel juhul on $\boldsymbol{v}$ määratav tingimusest :

$$\frac{mv^2}{R} \cdot h = mg \cdot \frac{b}{2} \;\Rightarrow\; v = \sqrt{\frac{Rgb}{2h}} \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

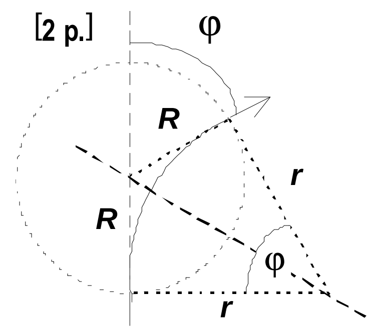
Teine kord seosest :

$$\frac{mv^2}{R} = \mu mg \;\Rightarrow\; v = \sqrt{\mu Rg} \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

Vastus: Eimesel juhul $\boldsymbol{v} = (\, \boldsymbol{R}\ \boldsymbol{g}\ \boldsymbol{b} / 2\ \boldsymbol{h}\,)^{1/2}$, teisel juhul $\boldsymbol{v} = (\, \mu\ \boldsymbol{R}\ \boldsymbol{g}\,)^{1/2}$.

8. ülesanne

Tähistused: ***m*** — elektroni mass; ***a*** — elektroni kiirendus magnetväljas; ***v*** — elektroni kiirus; ***R*** — magnetvälja mõjupiirkonna raadius; ***r*** — elektronkiire trajektoori raadius magnetvälja läbimisel; ***B*** — magnetvälja induktsioon; ***e*** — elektroni laeng; φ — kiire kõrvalekalde nurk.



Antud: ***B*** , ***R*** , ***v*** , ***m*** , ***e*** .

Lahendus:

Homogeenses magnetväljas liigub laetud osake mööda ringjoont raadiusega ***r***.

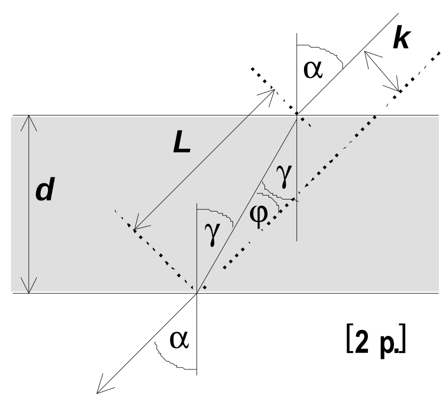
$$ma = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad [\mathbf{2\ p.}] \ ;\ F = Bev \ [\mathbf{2\ p.}] \ ;\ m \cdot \frac{v^2}{r} = Bev \;\Rightarrow\; r = \frac{mv}{Be} \quad [\mathbf{2\ p.}]$$

$$\mathbf{tan}\,\frac{\varphi}{2} = \frac{R}{r} = \frac{eBR}{mv} \;\Rightarrow\; \varphi = 2\ \mathbf{arctan}\left(\frac{eBR}{mv}\right) \ [\mathbf{2\ p.}]$$

Vastus: Elektronkiir kaldub esialgsest trajektoorist kõrvale nurga *2* **arctan** *(* ***e B R*** */* ***m v*** *)* võrra.

9. ülesanne

Tähistused: α — langemisnurk; γ — murdumisnurk; ***n*** — murdumisnäitaja; ***L*** — kiire poolt plaadi sees läbitud teepikkus; ***d*** — plaadi paksus; ***k*** — nihe valguskiire liikumissuundade vahel enne ja pärast plaadi läbimist; φ — langenud ja murdunud kiirte vaheline nurk.



Antud: α , ***n*** , ***d*** .

Lahendus:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma}=n \ [1\ \text{p.}] \ \Rightarrow\ \sin\gamma=\frac{\sin\alpha}{n} \ ;\ \cos\gamma=\sqrt{1-\sin^2\gamma}=\sqrt{1-\frac{\sin^2\gamma}{n^2}} \ [1\ \text{p.}]$$

$$L=\frac{d}{\cos\gamma}=\frac{d}{\sqrt{1-\frac{\sin^2\gamma}{n^2}}}=\frac{nd}{\sqrt{n^2-\sin^2\gamma}} \ [2\ \text{p.}]$$

$$\sin\varphi=\sin(\alpha-\gamma)=\sin\alpha\cos\gamma-\cos\alpha\sin\gamma=\sin\alpha\cdot\sqrt{1-\frac{\sin^2\gamma}{n^2}}-\cos\alpha\cdot\frac{\sin\alpha}{n}$$

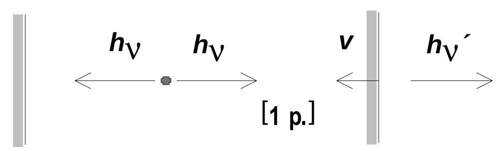
$$\sin\varphi=\frac{\sin\alpha}{n}\cdot\left(\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}-\cos\alpha\right) \ [2\ \text{p.}]$$

$$k=L\sin\varphi=d\sin\alpha\cdot\left(1-\frac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}\right) [2\ \text{p.}]$$

<u>Vastus</u>*:* Valguskiir nihkub kõrvale esialgsest liikumissuunast
$d\sin\alpha\ (1-\cos\alpha/(n^2-\sin^2\alpha)^{1/2})$ võrra.

10. ülesanne

<u>Tähistused</u>*:* η — footonrakettmootori kasutegur stardihetkel; ΔE_K — footonraketi kineetilise energia muutus ühe footoni mõju tulemusena; h — Plancki konstant; ν , ν'— footoni sagedus enne ja pärast peegeldumist; m — footonraketi mass; c — valguse kiirus; v — footonraketi liikumise kiirus.



<u>Antud</u>*:* h , ν , m , c .

<u>Lahendus</u>*:*

$$\eta=\frac{\Delta E_K}{2h\nu}=\frac{mv^2}{2\cdot 2h\nu} \ [2\ \text{p.}] \ ;\ \frac{h\nu}{c}=mv-\frac{h\nu'}{c} \ [2\ \text{p.}] \ ;\ h\nu=\frac{mv^2}{2}+h\nu' \ [2\ \text{p.}]$$

$$2h\nu=mv^2+2mvc-2h\nu \ \Rightarrow\ 4h\nu=mv^2+2mvc \ [1\ \text{p.}]$$

$$v<<c \ \Rightarrow\ mv^2<<2mvc \ \Rightarrow\ 4h\nu=2mvc \ \Rightarrow\ 2h\nu=mvc \ [2\ \text{p.}]$$

$$\Rightarrow\ v=\frac{2h\nu}{mc} \ \Rightarrow\ v^2=4\cdot\left(\frac{h\nu}{mc}\right)^2;\ \eta=\frac{m}{4h\nu}\cdot 4\cdot\left(\frac{h\nu}{mc}\right)^2=\frac{h\nu}{mc^2} \ [2\ \text{p.}]$$

<u>Vastus</u>*:* Footonrakettmootori kasutegur stardihetkel avaldub valemiga $h\nu / mc^2$.

1. praktiline ülesanne

<u>Teooria</u>*:*

Keha ujub, kui $F_ü = m g$, kus $F_ü$ on üleslükke jõud, m on keha mass ja g on vaba langemise kiirendus [**1 p.**]. $F_ü = \rho V g$, kus ρ on vee tihedus, V on välja tõrjutud vee ruumala [**1 p.**]. Ujuva keha mass võrdub välja tõrjutud vee massiga $m = \rho V$ [**1 p.**].

Suhtelise vea valem: $E(x) = \Delta x / x$ [**1 p.**];

Summa (vahe) arvutamise viga: $E(x_1 \pm x_2) = (\Delta x_1 + \Delta x_2) / (x_1 \pm x_2)$ [**1 p.**]

Korrutise (jagatise) arvutamise viga: $E(x_1 / x_2) = E(x_1 \cdot x_2) = E(x_1) + E(x_2)$ [**1 p.**]

Mõõtmised:

Mõõdame puitklotsi mõõtmed [**1 p.**]. Mõõdame, kui suure vee ruumala $\boldsymbol{V_{PV}}$ tõrjub välja ujuv puitklots [**1 p.**]. Mõõdame, kui suure vee ruumala $\boldsymbol{V_K}$ tõrjub välja kivi [**1 p.**]. Mõõdame, kui suure vee ruumala $\boldsymbol{V_{KP}}$ tõrjub välja kivi, ujudes puitklotsil [**1 p.**].

Arvutused:

Puitklotsi ruumala on $\boldsymbol{V_P} = \boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b} \cdot \boldsymbol{c}$, kus ***a***, ***b*** ja ***c*** on puitklotsi mõõtmed. Puitklotsi mass on $\boldsymbol{m_P} = \boldsymbol{V_{PV}} \cdot \rho_V$, kus ρ_V on vee tihedus. Puitklotsi tihedus on $\rho_P = \boldsymbol{m_P} / \boldsymbol{V_P}$. Kivi mass on $\boldsymbol{m_K} = (\boldsymbol{V_{KP}} - \boldsymbol{V_{PV}}) \cdot \rho_V$. Kivi tihedus on $\rho_K = \boldsymbol{m_K} / \boldsymbol{V_K}$.

Mõõtevea arvutamine:

Mõõtmiste suhtelised vead [**1 p.**]:

Puuklotsi mõõtmete mõõtmise suhtelised vead: $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{a}) = \Delta \boldsymbol{a} / \boldsymbol{a}$, $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{b}) = \Delta \boldsymbol{b} / \boldsymbol{b}$, $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{c}) = \Delta \boldsymbol{c} / \boldsymbol{c}$.

Välja tõrjutud vee ruumala mõõtmise suhteline viga: $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{V}) = 2\,\Delta \boldsymbol{V} / \boldsymbol{V}$, kus ***V*** on vastav mõõdetud välja tõrjutud vee ruumala ja $\Delta \boldsymbol{V}$ on antud mõõtesilindri mõõtetäpsus.

Arvutuste suhtelised vead [**1 p.**]:

Puitklotsi ruumala arvutamise suhteline viga: $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{V_P}) = \boldsymbol{E}(\boldsymbol{a}) + \boldsymbol{E}(\boldsymbol{b}) + \boldsymbol{E}(\boldsymbol{c})$

Puitklotsi massi suhteline viga on võrdne puitklotsi ruumala suhtelise veaga $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{m_P}) = \boldsymbol{E}(\boldsymbol{V_P})$.

Puitklotsi tiheduse arvutamise suhteline viga on võrdne puitklotsi ruumala suhtelise vea ja puitklotsi poolt välja tõrjutud vee ruumala suhtelise vea summaga: $\boldsymbol{E}(\rho_P) = \boldsymbol{E}(\boldsymbol{V_P}) + \boldsymbol{E}(\boldsymbol{V_{PV}})$

Kivi massi arvutamise suhteline viga: $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{m_K}) = 2\,\Delta \boldsymbol{V} / (\boldsymbol{V_{KP}} - \boldsymbol{V_{PV}})$, kus $\Delta \boldsymbol{V}$ on mõõtesilindri mõõtetäpsus.

Kivi tiheduse arvutamise suhteline viga on võrdne kivi massi arvutamise suhtelise vea ja kivi ruumala mõõtmise suhtelise vea summaga: $\boldsymbol{E}(\rho_K) = \boldsymbol{E}(\boldsymbol{m_K}) + \boldsymbol{E}(\boldsymbol{V_K})$

2. praktiline ülesanne

Teooria:

Soojendamise kasutegur: $\eta = (\boldsymbol{Q_A} + \boldsymbol{Q_V}) / \boldsymbol{Q}$, kus ***Q*** on piirituse põlemisel vabanenud soojushulk, $\boldsymbol{Q_A}$ anuma soojenemiseks kulunud soojushulk ja $\boldsymbol{Q_V}$ vee soojenemiseks kulunud soojushulk [**2 p.**].

Piirituse põlemisel vabanenud soojushulk: $\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{r\, m}$, kus ***m*** on ära põlenud piirituse mass ja ***r*** on piirituse kütteväärtus [**1 p.**].

Vee soojenemiseks on kulunud soojushulk: $\boldsymbol{Q_V} = \boldsymbol{c\, m}$ (€$\boldsymbol{t_2} - \boldsymbol{t_1}$) , kus ***m*** on soojendatava vee mass, ***c*** on vee erisoojus, $\boldsymbol{t_1}$ vee algtemperatuur ja $\boldsymbol{t_2}$ vee lõpptemperatuur [**1 p.**]. Samasuguse valemi järgi arvutatakse ka $\boldsymbol{Q_A}$.

Suhtelise vea valem: $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{x}) = \Delta \boldsymbol{x} / \boldsymbol{x}$ [**1 p.**];

Summa (vahe) arvutamise viga: $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{x_1} \pm \boldsymbol{x_2}) = (\Delta \boldsymbol{x_1} + \Delta \boldsymbol{x_2}) / (\boldsymbol{x_1} \pm \boldsymbol{x_2})$ [**1 p.**]

Korrutise (jagatise) arvutamise viga: $\boldsymbol{E}\ (\ x_1\ /\ x_2\ ) = \boldsymbol{E}\ (\ x_1 \cdot x_2\ ) = \boldsymbol{E}\ (\ x_1\ ) + \boldsymbol{E}\ (\ x_2\ )$ [**1 p.**]

Mõõtmised:

Mõõdame vee ja anuma massid [**1 p.**]. Mõõdame piirituslambi massi enne ja pärast põletamist [**1 p.**]. Mõõdame vee temperatuuri enne ja pärast soojendamist [**1 p.**].

Mõõtevea arvutamine:

Mõõtmiste suhtelised vead [**1 p.**]:

Masside mõõtmiste suhteline viga $E\ (\ m\ ) = \Delta m\ /\ m$, kus Δm on vastavalt vee või anuma massi mõõtmise absoluutne viga (võib olla *0,1 g* kuni *0,5 g* sõltuvalt olemasolevast vihtide komplektist) ja m vastav mõõdetud massi väärtus.

Temperatuuri vahede mõõtmiste suhteline viga $E\ (\ \Delta t\ ) = 2\ \Delta t\ /\ (\ t_2 - t_1\ )$, kus t_1 ja t_2 on vastavalt mõõdetud vee ja anuma alg- ja lõpptemperatuuride väärtusud ning Δt on kasutatud termomeetri mõõtetäpsus (võib olla *0,1°* kuni *0,5°* sõltuvalt termomeetri skaalast).

Arvutatud suuruste suhtelised vead [**1 p.**]:

Piirituse põlemisest eraldunud soojushulga suhteline viga on võrdne piirituslambi massi mõõtmise suhtelise veaga: $E\ (\ Q\ ) = E\ (\ m\ ) = 2\ \Delta m\ /\ (\ m_2 - m_1\ )$, kus m_1 ja m_2 on piirituslambi alg- ja lõppmassid ja Δm on massi mõõtmise absoluutne viga.

Vee soojenemiseks kulunud soojushulga suhteline viga on võrdne vee massi ja temperatuuride vahe mõõtmiste suhteliste vigade summaga: $E\ (\ Q_V\ ) = E\ (\ m\ ) + E\ (\ \Delta t\ )$.

Anuma soojenemiseks kulunud soojushulga suhteline viga on võrdne anuma massi ja temperatuuride vahe mõõtmiste suhteliste vigade summaga: $E\ (\ Q_A\ ) = E\ (\ m\ ) + E\ (\ \Delta t\ )$.

Vee soojendamise kasuteguri suhteline viga on ülalarvutatud kolme soojushulga suhteliste vigade summa: $E\ (\ \eta\ ) = E\ (\ Q\ ) + E\ (\ Q_A\ ) + E\ (\ Q_V\ )$.