ავთანდილ შურღაია

ფიზიკა ამოცანებში – სითხეები და აირები

(მე-12 ნაწილი)

ვაგრძელებთ ამოცანების განხილვას სითხეებისა და აირების თვისებებზე და მათში მიმდინარე მოვლენებზე.

**მუშაობა სითხეში.** რა მუშაობას ასრულებს არქიმედეს ამომგდები ძალა $\rho_0$ სიმკვრივის სითხეში $h$ სიმაღლისა და $R$ რადიუსის ცილინდრის ვერტიკალურ მდგომარეობაში თანაბრად ჩაძირვის დროს?

გავითვალისწინოთ, რომ ცილინდრის ვერტიკალურად ჩაძირვის დროს არქიმედეს ამომგდები ძალა მანძილის პროპორციულად იცვლება, კერძოდ, ამ ძალის სიდიდე ცილინდრის სითხეში ჩაძირული ნაწილის $x$ სიმაღლის პირდაპირპროპორციულია: $F = \rho g S x$, ხოლო მიმართულება - გადაადგილების საპირისპირო. თუ ჩაძირვის სიღრმეს (ცილინდრის ჩაძირული ნაწილის სიღრმეს) დავყოფთ მცირე უბნებად, სრული ჩაძირვისას არქიმედეს ძალის მუშაობა გაუტოლდება ცალკეულ უბნებზე შესრულებულ მუშაობათა ჯამს, რაც ნიშნავს ინტეგრალის გამოთვლას ცილინდრის სრული ჩაძირვისას, ანუ საძიებელი მუშაობა ტოლია

$$A = -\int_o^h \rho g S x \, dx = -\frac{\rho g \pi R^2 h^2}{2}.$$

ინტეგრალის წინ მინუს ნიშანი არქიმედეს ძალის მიმართულებაზე მიუთითებს. იგივე მუშაობა შეიძლება გამოვთვალოთ როგორც ცილინდრის გადაადგილების გასწვრივ არქიმედეს ძალის საშუალო მნიშვნელობის მუშაობა. ვინაიდან ძალა გადაადგილების საპირისპიროდ არის მიმართული, საძიებელი მუშაობა იქნება

$$A = -F_{\text{საშ}} h.$$

არქიმედეს ძალის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია გადაადგილების საწყის და საბოლოო მდგომარეობებში ძალების მნიშვნელობათა საშუალო არითმეტიკულისა, ვინაიდან ძალა მანძილზე წრფივად არის დამოკიდებული:

$$F_{\text{საშ}} = \frac{F_0 + F_h}{2} = \frac{0 + \rho g \pi R^2 h}{2}.$$

ამრიგად, საძიებელი მუშაობა ტოლია

$$A = -\frac{\rho g \pi R^2 h^2}{2}.$$

**სხეულის ამოსვლა სითხიდან.** სითხეში, რომლის სიმკვრივეა $\rho_0$, $h$ სიღრმეზე ჩაძირულია $\rho$ სიმკვრივის სხეული. სხეული ამოტივტივდება სითხის ზედაპირზე. რა სიღრმეზე უნდა იყოს ჩაძირული სხეული, რომ იგი ავიდეს სითხის ზედაპირიდან $H$ სიმაღლეზე, თუ სითხის წინააღმდეგობის ძალა შეადგენს სიმძიმის ძალის $k$ ნაწილს? რა პირობას უნდა აკმაყოფილებდეს სითხის სიმკვრივე მოცემული $h$-ისა და $H-$სთვის, რომ სხეული ამოვიდეს სითხიდან? ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა უგულებელყავით.

სითხეში ჩაძირულ სხეულზე ზევით მოძრაობის დროს მოქმედებს სამი ძალა: სიმძიმის, არქიმედეს ამომგდები და სითხის წინააღმდეგობის ძალა. არქიმედეს ამომგდები და სითხის წინააღმდეგობის ძალების მუშაობა უტოლდება სხეულის მექანიკური ენერგიის ცვლილებას. თუ სხეულის პოტენციური ენერგიის ნულოვან დონედ მივიღებთ სითხის ზედაპირიდან $h$ სიღრმის დონეს, მაშინ ამ ძალების მუშაობა სხეულის მექანიკური ენერგიის ცვლილების ტოლი იქნება და

$$A = mg(h + H).$$

მეორე მხრივ, მუშაობის განმარტების თანახმად,

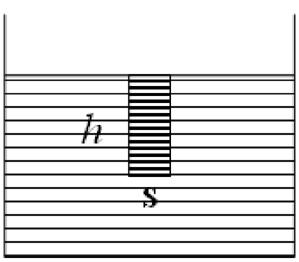
$$A = F_{ა}h - F_{წ}h = \frac{\rho_0}{\rho}mgh - kmgh.$$

ამ ორი ტოლობიდან მივიღებთ:

$$h = \frac{H\rho}{\rho_0 - (1 + k)\rho}.$$

აქედან ჩანს, რომ მოცემული $h$-ისა და $H$–ისთვის სხეული ამოვა სითხიდან, თუ სითხის სიმკვრივე დააკმაყოფილებს შემდეგ პირობას: $\rho_0 > (1 + k)\rho$.

**სითხიანი ჭურჭლის ვარდნა.** ჭურჭელი, რომელშიც ასხია სითხე მასში მოტივტივე სხეულით, ვერტიკალურად ვარდება ქვევით $a < g$ აჩქარებით. ამოტივტივდება თუ არა სხეული დამატებით სითხიდან ჭურჭლის ვარდნის დროს?




სხეულზე მოქმედი არქიმედეს ამომგდები ძალა, როგორც ცნობილია, განპირობებულია წნევათა სხვაობით სხეულის ქვედა და ზედა ზედაპირებზე. ჯერ გავარკვიოთ, როგორ შეიცვლება წნევა აჩქარებით ვარდნილ სხეულში ჩასხმულ სითხეში. თუ გამოვყოფთ სითხის ზედაპირიდან $h$ სიმაღლის სვეტს, რომლის ფუძის ფართობია $S$, მაშინ ამ სვეტში მოთავსებული სითხის მასის მოძრაობის განტოლება იქნება:

$$ma = mg - pS.$$

აქ $p$ არის სითხის წნევა h სიღრმეზე. სითხის მასა $m = \rho\mathrm{S}\mathrm{h}$, სადაც $\rho$ სითხის სიმკვრივეა. აქედან მივიღებთ, რომ სითხის ზედაპირიდან h სიღრმეზე წნევა $p = \rho h(g - a)$. განვიხილოთ ახალ სითხეში მოტივტივე სხეული. წარმოვიდგინოთ, რომ ცილინდრული

ფორმის $M$ მასის მქონე სხეული ჩაძირულია სითხეში ისე, რომ მისი ზედა ზედაპირი სითხის ზედაპირის დონეზეა. მაშინ მასზე მოქმედი ამომგდები ძალა იქნება

$$F = \rho V(g - a),$$

სადაც $V$ არის სხეულის სითხეში ჩაძირული ნაწილის მოცულობა. სხეულის მოძრაობის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე: $Ma = Mg - \rho V(g - a)$. ეს ტოლობა შესრულდება მხოლოდ მაშინ, თუ $M = \rho V$ (რადგან $a < g$). მაგრამ ეს ტოლობა სრულდება აგრეთვე უძრავი სითხიანი ჭურჭლის შემთხვევაში, ამიტომ სხეული დამატებით არ ამოტივტივდება.

განვიხილოთ რამდენიმე ამოცანა ჰიდრო- და აეროდინამიკაში. გავიხსენოთ, რომ, სითხის დინების უწყვეტობიდან გამომდინარე, მილის განივკვეთში დროის ერთეულში გავლილი სითხის რაოდენობა მუდმივი სიდიდეა. ეს ნიშნავს, რომ თუ მილის ორ სხვადასხვა ადგილას განივკვეთის ფართობებია $S_1$ და $S_2$, მაშინ ამ ადგილებში სითხის სიჩქარეები ამ განივკვეთის ფართობების უკუპროპორციული იქნება: $S_1 v_1 = S_2 v_2$. მილში სითხის დინებისას სრულდება ბერნულის კანონი, რომელიც ფაქტობრივად სითხის ენერგიის მუდმივობის კანონს წარმოადგენს (მიაქციეთ ყურადღება, რომ წნევას აქვს ენერგიის სიმკვრივის, ანუ მოცულობის ერთეულში დაგროვილი ენერგიის განზომილება):

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = const.$$

ამ განტოლებაში $p$ არის სითხის სტატიკური წნევა, $v$ - მისი დინების სიჩქარე, ხოლო $h$ - სითხის სიმძიმის ცენტრის დაშორება არჩეული ნულოვანი დონიდან. ამ კანონის თანახმად, განიერი ნაწილიდან ვიწროში სითხის გადასვლისას მცირდება სითხის წნევა, რადგან მისი დინების სიჩქარე იზრდება.

**სითხის ჭავლი.** $d = 1$სმ დიამეტრის მილიდან $v =$1მ/წმ სიჩქარით გამოედინება წყლის ჭავლი და ეჯახება ვერტიკალურ კედელს. გაიგეთ ძალა, რომლითაც ეს ჭავლი ეჯახება კედელს, თუ მილი კედლის მართობულია და სითხე გამოდინებისას არ იფრქვევა შხეფებად.

ამოცანის პირობის მიხედვით, სითხის ჭავლი კედელს არადრეკადად ეჯახება. სითხის იმპულსის ცვლილება დაჯახების $\Delta t$ დროის განმავლობაში გამოწვეულია სითხის მასის და არა მისი სიჩქარის ცვლილებით და, ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, ტოლია $\Delta m\, v = F\Delta t$. სითხის მასა, რომელიც გამოედინება მილიდან $\Delta t$ დროის განმავლობაში, ტოლია $\Delta m = \rho\pi\,(d^2/4)\,v\Delta t$. აქედან მივიღებთ, რომ $F = \rho\pi\,(d^2/4)\,v^2 \approx 0.08$ნ.

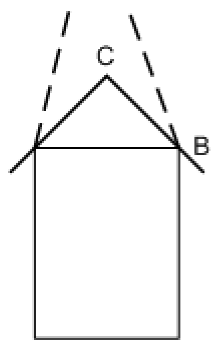
**სითხის ჭავლის გამოდინების სიჩქარე.** ჭურჭელში ჩასხმულია სითხე, რომლის სიმაღლეა $h$. ჭურჭლის ფსკერზე გაკეთებულია ხვრელი, რომლიდანაც სითხე გამოედინება. გაიგეთ სითხის გამოდინების სიჩქარე $v$.

ჩავთვალოთ ჭურჭლის ხვრელის დონე ნულოვანი პოტენციური ენერგიის დონედ. მაშინ, ბერნულის კანონის თანახმად (სითხის ზედაპირის მოძრაობის სიჩქარე პრაქტიკულად ნულის ტოლია),

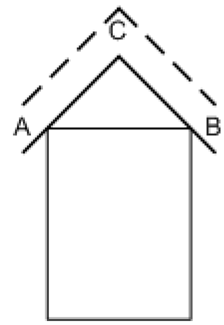
$$p_1 + \rho g h = p_2 + \frac{1}{2}\rho v^2,$$

სადაც $p_1$და $p_2$ სითხის წნევებია მის ზედაპირსა და ხვრელის დონეზე. ვინაიდან ორივე დონეზე სითხე ეხება ატმოსფეროს, ეს წნევები ერთმანეთის ტოლია. ამიტომ $v = \sqrt{2gh}$.

**სახლის სახურავი ქარბუქის დროს.** როგორც ცნობილია, ძლიერი ქარბუქი ხშირად სახლს სახურავს ხდის. უმეტესად გვხვდება ორი განსხვავებული შემთხვევა: ა) თუ სახურავი $C$ წერტილში უფრო სუსტად არის დამაგრებული, ვიდრე $A$ და $B$ წერტილებში (იხ ნახ. ა), მაშინ ის იხსნება $C$ წერტილში; ბ) თუ სახურავი $A$ და $B$ წერტილებში უფრო სუსტად არის დამაგრებული, ვიდრე $C$ წერტილში (ნახ. ბ), მაშინ ის იხსნება $A$ და $B$ წერტილებში. ახსენით ორივე მოვლენა.



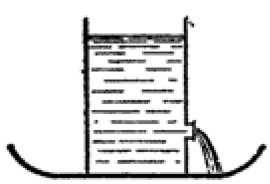

ნახ. ა




ნახ. ბ

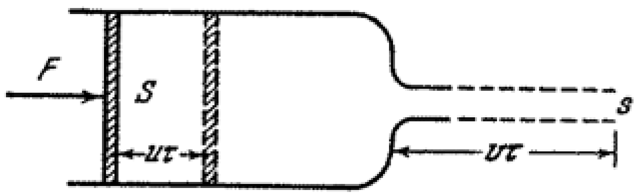
ქარბუქის დროს სახლის სახურავის ზედა მხარეს ჰაერის ნაკადის სიჩქარე უფრო მაღალია, ვიდრე ქვედა მხარეს და, შესაბამისად, წნევა უფრო დაბალია, ვიდრე ქვედა მხარეს. წნევათა სხვაობის გამო სახურავზე მოქმედებს ქვევიდან ზევით მიმართული ძალა, რომელიც იწვევს სახურავის რღვევას დამაგრების უფრო სუსტ წერტილებში.

**სითხიანი ჭურჭელი სასწორზე.** ჭურჭელში ჩასხმული სითხე გაწონასწორებულია ბერკეტიან სასწორზე. ჭურჭელს ფუძესთან აქვს ონკანი. დაირღვევა თუ არა წონასწორობა, თუ ონკანს გავხსნით ისე, რომ სითხე სასწორის იმავე თეფშზე გადმოიღვაროს? ახსენით.



როდესაც ონკანს გავხსნით, ვიდრე ჭურჭლიდან გადმოდინებული $m$ მასის სითხის ჭავლი არ მიაღწევს სასწორის თეფშს, წონასწორობა დაირღვევა და თეფში აიწევს ზევით. როგორც კი ჭავლი თეფშს მიაღწევს, თეფშს იგი ვერტიკალური მიმართულებით გადასცემს იმპულსს, რომელიც ტოლია $m\sqrt{2gh}$, სადაც $h$ არის მანძილი ჭურჭლის ფუძიდან ონკანამდე, ამიტომ წონასწორობა აღდგება. მეორე მხრივ, დროის $t = \sqrt{2h/g}$ შუალედში სითხის ეს მასა არ აწარმოებს წნევას ჭურჭლის ფსკერზე, რაც ეკვივალენტურია იმისა, რომ ჭურჭელზე მოქმედებს ვერტიკალურად ზევით მიმართული ძალის იმპულსი, რომლის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია $mg\sqrt{2h/g} = m\sqrt{2gh}$. ამრიგად, $m$ მასის სითხე, რომელიც გადმოედინება ონკანიდან, ორი ურთიერთსპირისპირო მიმართულებით გასცემს თანაბარ იმპულსებს. ამიტომ, ვიდრე სითხის ჭავლი უწყვეტია, წონასწორობა არ დაირღვევა. როგორც კი სითხის დენა შეწყდება, თეფში მყისიერად დაბლა დაიწევს, რადგან წნევის შემცირება ჭურჭლის ფსკერზე შეწყდება.

**ტუმბო.** ტუმბო წარმოადგენს ჰორიზონტალურ ცილინდრს, რომლის განივკვეთის ფართობია $S$. ტუმბოს აქვს ცილინდრის ღერძის გასწვრივ $s$ განივკვეთის ფართობის მქონე ვიწრო ხვრელი, საიდანაც $\rho$ სიმკვრივის სითხის ჭავლი გამოდის. გაიგეთ სითხის ტუმბოდან გამოსვლის სიჩქარე, თუ ტუმბოს დგუში თანაბრად გადაადგილდება და სითხეზე მოქმედებს $F$ ძალით.




თუ ტუმბო გადაადგილდება $u$ სიჩქარით $\tau$ დროში, მაშინ $F$ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლია $A = Fu\tau$. მეორე მხრივ, ეს მუშაობა უტოლდება სითხის კინეტიკური ენერგიის ცვლილებას. თუ გავითვალისწინებთ, რომ გამოდინებული სითხის მასა ტოლია $\rho Su\tau$ სითხის, ხოლო გამოდინების სიჩქარე – $\upsilon -$ ხი, მაშინ ეს ცვლილება და, შესაბამისად, დგუშის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლი იქნება

$$A = \rho Su\tau\left(\frac{\upsilon^2}{2} - \frac{u^2}{2}\right).$$

ამრიგად,

$$Fu\tau = \rho Su\tau\left(\frac{\upsilon^2}{2} - \frac{u^2}{2}\right).$$

გავიხსენოთ სითხის დინების უწყვეტობა, რის გამოც $Su = s\upsilon$. ამ ორი უკანასკნელი ტოლობიდან საძიებელი სიჩქარისთვის მივიღებთ:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2F}{S\rho(1 - s^2/S^2)}}.$$

თუ ტუმბოს მილის განვკვეთის ფართი ზევრად ნაკლებია თვით ტუმბოს განივკვეთის ფართზე – $s \ll S$. მაშინ მნიშვნელში შეიძლება უკუვაგდოთ მეორე წევრი და სიჩქარისთვის გვექნება

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2F}{S\rho}}.$$