

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ЕСЕПТЕРІН ШЕШУДЕ ВЕКТОРЛЫҚ ТАЛДАУ НЕГІЗДЕРІН ҚОЛДАУ

Г.К. Калжанова¹ , А.Н. Түлкібекова^{2,*} 

¹І. Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Қазақстан Республикасы, Талдықорған қ.

²І. Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Қазақстан Республикасы, Талдықорған қ.

*email: tulkibekovaa@mail.ru

Векторлық талдау физикада кеңінен қолданылады. Жұмыста электродинамика бойынша оқу бағдарламаларының мазмұнын талдау негізінде классикалық электродинамиканы сәтті игеру үшін қажетті векторлық алгебра және векторлық талдау тақырыптары анықталды. Электродинамиканың есептері қарастырылады, оларды шешу үшін векторлық талдаудың математикалық аппараты қолданылады. Векторлық талдау элементтерін қолдана отырып, электродинамика есептерін шешу үшін студенттердің қандай практикалық дағдылары болуы керек екендігі көрсетілген.

Кілт сөздер: векторлық талдау, векторлық алгебра, өріс теориясы, электродинамика есептері, есептерді шешу.

Кіріспе

Физика өзінің тарихи дамуында біртіндеп сипаттамалық ғылымнан нақты ғылымға айналды. Табиғат пен техникада болатын әртүрлі құбылыстар мен процестерді сипаттау үшін физиктер математикалық әдістерді кең қолданады.

Ең алдымен, әрбір физикалық қасиеттің өлшемі енгізілді. Физиктер қарапайым қасиеттерді зерттеген кезде, олардың әрқайсысының өлшемі ретінде скалярлық шамалармен шектелуге болатын. Осылайша масса, уақыт, ұзындық, көлем, температура, қысым, электр заряды, энергия және т. б. скалярлық шамалар енгізілді.

Уақыт өте келе қозғалыс жылдамдығын, осы жылдамдықтың өзгеруін, денелердің өзара әрекеттесуін және т.б. сандық сипаттау үшін скалярлық шамалар жарамайтыны анықталды. Бұл жағдайларда неғұрлым күрделі математикалық шамалар – бағытталған кесінділер немесе векторлар қолайлы болып шықты. Векторлық физикалық шамаларға жылдамдық, үдеу, күш, импульс, импульс моменті, күш импульсі және басқалар жатады.

XIX ғасырдың аяғында физиктерге деформацияларды, айналмалы қозғалыстағы инерцияны, деформацияланған қатты денелердегі күштерді және т.б. сипаттау үшін одан да күрделі математикалық сипаттағы шамалар қажет екендігі белгілі болды. Осылайша тензорлар енгізілді [1].

Сандық әдістердің дамуы зерттелетін объектінің әртүрлі нүктелеріндегі бірдей физикалық қасиет әртүрлі мәндерді қабылдай алатынын көрсетті, сондықтан математикалық сипаттау үшін қарастырылып отырған объектінің барлық нүктелеріндегі сәйкес шаманың мәндерінің жиынтығын білу қажет. Сонымен, физикада бірте – бірте математикалық өріс туралы түсінік пайда болды. Математикалық өріс дегеніміз әр нүктесі белгілі бір физикалық шаманың белгілі бір мәніне сәйкес келетін кеңістік аймағы [2].

"Вектор" терминін алғаш рет 1845 жылы В.Р. Гамильтон енгізген. Ол сонымен қатар "скаляр", "скалярлық көбейтінді", "векторлық көбейтінді" терминдерінің авторы. Вектор ұғымы енгізілгеннен кейін векторларға қолданылатын амалдар ережелері егжей-тегжейлі әзірленді, нәтижесінде алдымен векторлық алгебра, содан кейін векторлық талдау пайда болды. Векторлық алгебра векторларға қолданылатын қарапайым амалдарды қарастырады. Ол аналитикалық геометрияның өзіндік тіліне айналды. Векторлық талдау векторлық және

скалярлық өрістерді зерттейді. Векторлық талдаудың негізгі ұғымдары – «градиент», «дивергенция», «ротор» және «лапласиан».

Алгебра ережелері бойынша геометриялық шамалармен жұмыс істеуге мүмкіндік беретін математикалық аппарат құру Г.В. Лейбництен бастап көптеген математиктердің зерттеулерінің мақсаты болды. Бұл идеялардың практикалық іске асырылуы ХІХ ғасырда векторларға қолданылатын негізгі операцияларды анықтаған В.Р. Гамильтон, Г. Грассман, В. Клиффорд есімдерімен байланысты.

Векторлық алгебра және векторлық талдау 1901 жылы векторлық талдаудан оқулығын шығарған американдық физик және математик Джозейн Уиллард Гиббстің еңбектерінде қазіргі уақытта қолданылатын түрге ие болды.

Векторлық талдауды зерттеу қисық және беттік интегралдарды, олардың негізгі қасиеттері мен ұғымдарын, сонымен қатар, векторлық талдаудың негізгі ұғымдарын жалпылайтын өріс теориясын қамтитын дифференциалды және интегралды есептеулерін қарастыруына әкеледі. Өріс теориясы өрісті сипаттайтын шамалар арасындағы байланыстарды анықтайды және зерттейді [3,4].

Мақаланың негізгі мақсаты - классикалық электродинамиканы игеруіне қажетті векторлық алгебра мен векторлық талдау тақырыптарын анықтау және физикалық есептерді шешу дағдыларын қалыптастырудағы векторлық талдаудың рөлін көрсету.

Материалдар мен тәсілдер

Қойылған мақсатқа жету үшін «Физика» білім беру бағдарламасының физикалық және математикалық пәндерінің жұмыс оқу бағдарламалары, векторлық талдау негіздері және оларды физикада қолдану бойынша оқу-әдістемелік материалдар қарастырылып талқыланды. Классикалық электродинамика бойынша есеп жинақтарынан векторлық талдау элементтерін қолдануды қажет ететін тапсырмалар іріктелді және оларды шешу үшін студенттердің қандай практикалық дағдылары болуы керек екендігі көрсетілді.

Негізгі бөлім

Векторлық талдау әдістері физика мен инженерияда қолданылады. Физика, электротехника, механика және басқа да техникалық пәндердің көптеген есептері скалярлық және векторлық өрістерді қарастыруға әкеледі [5,6].

Өріс теориясының математикалық өзегі скаляр өрісінің градиенті, вектор өрісінің дивергенциясы мен роторы, вектор өрісінің ағыны мен циркуляциясы сияқты ұғымдар болып табылады.

Физикада бұл теорияның нәтижелері гидродинамикада, аэродинамикада, термодинамикада, электродинамикада, деформацияланатын қатты механикада, плазма механикасында, радиоэлектроникада және радиоастрономияда, салыстырмалылық теорияда, космологияда және басқа да көптеген зерттеу пәні үздіксіз ортаның қасиеттерін қарастыру болып табылатын бөлімдерде қолданылады.

Әсіресе векторлық талдау ұғымдары электродинамикада кеңінен қолданылады. Электродинамика - электромагниттік өрісті және оның электр заряды бар денелермен өзара әрекеттесуін зерттейтін физика саласы. Электродинамика есептерін шешуде векторлық талдаудың негізгі операциялары мен маңызды теоремаларын білу қажет.

Классикалық электродинамиканың негізгі мазмұны - электромагниттік өрістің қасиеттерін және оның зарядталған денелермен өзара әрекеттесуін сипаттау. Бұл сипаттама Максвелл теңдеулеріне және Лоренц күшінің формуласына әкеледі. Олар бірге Максвелл–Лоренц теңдеулері деп аталатын классикалық электродинамиканың толық теңдеулер жүйесін құрайды. Джеймс Клерк Максвелл теңдеулерді 1873 жылы ХІХ ғасырдың ортасына дейін жинақталған Ампер, Кулон, Фарадей, Эрстед алған эксперименттік нәтижелерге сүйене отырып тұжырымдады. Бұл теңдеулерді дифференциалды және интегралды түрде жазуға болады. Максвелл теңдеулері кеңістіктегі зарядтар мен токтардың таралуы (ρ мен \vec{j}) және олардың уақыт бойынша өзгеруі белгілі болған кездегі электромагниттік өрістің

негізгі сипаттамаларын (электр өрісінің кернеулігі \vec{E} , магнит өрісінің индукциясы \vec{B} , электр өрісінің индукциясы \vec{D} және магнит өрісінің кернеулігі \vec{H}) координаттар мен уақыттың функциялары ретінде анықтайды. Векторлық есептеуді қолдана отырып, Максвелл теңдеулеріне заманауи форманы Г.Р.Герц және О. Хевисайд берді (1-кесте).

Кесте 1 - Электромагниттік өріс үшін Максвелл теңдеулері

Атауы	Дифференциалдық түрі	Интегралдық түрі
Гаусс теоремасы	$div \vec{D} = 4\pi\rho$	$\int_S (\vec{D} \cdot d\vec{S}) = 4\pi q$
Фарадейдің электромагниттік индукция заңы	$rot \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_L (\vec{E} \cdot d\vec{l}) = -\frac{1}{c} \frac{d}{dt} \int_S (\vec{B} \cdot d\vec{S})$
Магнит өрісі үшін Гаусс теоремасы	$div \vec{B} = 0$	$\int_S (\vec{B} \cdot d\vec{S}) = 0$
Магнит өрісінің айналымы теоремасы	$rot \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oint_L (\vec{H} \cdot d\vec{l}) = \frac{4\pi}{c} I + \frac{1}{c} \frac{d}{dt} \int_S (\vec{D} \cdot d\vec{S})$

Максвелл теңдеулерін интегралды түрде Стокс теоремасы мен Остроградский–Гаусс формуласын дифференциалдық түрдегі Максвелл теңдеулеріне қолдану арқылы алуға болады [7,8].

Нәтижелер мен талқылаулар

Классикалық электродинамиканы сәтті игеруіне қажетті векторлық алгебра мен векторлық талдау тақырыптарын анықтау үшін «Физика» білім беру бағдарламасының студенттеріне арналған «Электродинамика және арнайы салыстырмалылық теория» пәні бойынша, сондай-ақ «Физика және информатика» білім беру бағдарламасының студенттеріне арналған «Теориялық физика 1» пәні бойынша оқу бағдарламаларының мазмұнына талдау жүргізілді. Осы бағдарламалардың мазмұнын зерттеу классикалық электродинамиканың теориялық материалдарын игеру және есептерін шешу үшін векторлық алгебра мен векторлық талдаудың келесі тақырыптарын игеру қажет екенін көрсетті (2-кесте).

Кесте 2 - Электродинамиканы игеру үшін қажетті векторлық алгебра және векторлық талдау тақырыптары

№	Тақырыптар
1.	Скалярлық және векторлық шамалар
2.	Векторларға қолданылатын сызықтық амалдар (векторларды қосу және азайту, векторды санға көбейту) және олардың негізгі қасиеттері
3.	Векторлардың координаталық түрі
4.	Екі вектордың скалярлық көбейтіндісі және оның қасиеттері
5.	Екі вектордың векторлық көбейтіндісі және оның қасиеттері
6.	Үш вектордың аралас көбейтіндісі және оның қасиеттері
7.	Үш вектордың қос векторлық көбейтіндісі
8.	Скалярлық аргументтің векторлық функциясы, векторлық функцияны дифференциалдау мен интегралдаудың негізгі ережелері
9.	Скаляр өрісі және оның графикалық бейнесі
10.	Скаляр өрісінің бағыты бойынша туындысы
11.	Скаляр өрісінің градиенті және оның қасиеттері
12.	Векторлық өріс және оның графикалық бейнесі
13.	Векторлық өрістің бет бойынша ағыны
14.	Векторлық өрістің дивергенциясы және оның қасиеттері

№	Тақырыптар
15.	Векторлық өрістің циркуляциясы
16.	Векторлық өріс роторы және оның қасиеттері
17.	Соленоидальды және потенциалды өрістер
18.	Векторлық функцияның дивергенциясы арқылы өрнектелген векторлық өріске арналған Остроградский-Гаусс формуласы
19.	Векторлық функцияның роторы арқылы өрнектелген векторлық өріске арналған Стокс формуласы
20.	Гамильтон операторы
21.	Бірінші ретті дифференциалды операциялар
22.	Лаплас операторы
23.	Екінші ретті дифференциалды операциялар
24.	Гармоникалық өрістер
25.	Ортогональды қисық координаттардағы векторлық талдаудың негізгі операциялары

1-ші кестеден көріп отырғанымыздай, электродинамиканың негізгі теңдеулерін жазу үшін векторлық талдау ұғымдары қолданылады. Максвелл теңдеулерінен электромагниттік өрістің негізгі сипаттамаларын анықтау үшін векторлық талдау туралы білім қажет, оның негізгі тақырыптары 2-ші кестеде келтірілген.

Физикалық есептерді шығару кезеңдерінің бірі – математикалық кезең. Векторлық талдау негіздерін білуді қажет ететін электродинамика есептерін қарастырайық [9,10]. 3-ші кестеде мысал ретінде Электродинамика пәнінен екі есептің шешімі көрсетілген. Бұл есептерде векторлық талдаудың негізгі операциялары және формулалары қолданылған.

Кесте 3 - Шешу кезінде Векторлық талдау негіздерін білу қажет ететін Электродинамика есептері

№	Есептің шарты	Есептің шешімі
1.	Қуыс аймақтың ішінде электростатикалық өрістің кернеулігі $\vec{E} = (\vec{a} \cdot \vec{r})\vec{b}$ (мұндағы \vec{a}, \vec{b} векторлары координаттарға тәуелді емес, \vec{r} – нүктенің радиус-векторы) тең болуына әкелетін қуыстың сыртында зарядтың таралуын таңдауға болады ма?	<p>Қуыс аймақтың ішіндегі электростатикалық өрістің кернеулігі</p> $\operatorname{rot} \vec{E} = 0, \quad \operatorname{div} \vec{E} = 0$ <p>біртекті Максвелл теңдеулерін қанағаттандыру керек. Сондықтан, есепті шешу үшін берілген өрістің роторы мен дивергенциясын есептеу керек.</p> $\operatorname{rot} \vec{E} = \operatorname{rot} (\vec{a} \cdot \vec{r})\vec{b} = (\vec{a} \cdot \vec{r})\operatorname{rot} \vec{b} + [\operatorname{grad} (\vec{a} \cdot \vec{r}) \cdot \vec{b}] = [\vec{a} \cdot \vec{b}]$ $\operatorname{div} \vec{E} = (\vec{a} \cdot \vec{r})\operatorname{div} \vec{b} + (\vec{b} \operatorname{grad} (\vec{a} \cdot \vec{r})) = (\vec{b} \cdot \vec{a})$ <p>Векторлық өрістің роторы мен дивергенциясын есептеу үшін векторлық талдаудан келесі формулалар қолданылды:</p> $\operatorname{rot} \varphi \vec{a} = \varphi \cdot \operatorname{rot} \vec{a} + [\operatorname{grad} \varphi \cdot \vec{a}]$ $\operatorname{div} \varphi \vec{a} = \varphi \cdot \operatorname{div} \vec{a} + (\vec{a} \cdot \operatorname{grad} \varphi)$ $\operatorname{rot} \vec{a} = \left(\frac{\partial a_z}{\partial y} - \frac{\partial a_y}{\partial z} \right) \vec{i} + \left(\frac{\partial a_x}{\partial z} - \frac{\partial a_z}{\partial x} \right) \vec{j} + \left(\frac{\partial a_y}{\partial x} - \frac{\partial a_x}{\partial y} \right) \vec{k}$ $\operatorname{div} \vec{a} = \frac{\partial a_x}{\partial x} + \frac{\partial a_y}{\partial y} + \frac{\partial a_z}{\partial z}$ $\operatorname{grad} \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{k}$ <p>Формулаларда φ – скалярлық өріс, \vec{a} – векторлық өріс.</p>

№	Есептің шарты	Есептің шешімі
		Қуыс аймақтың ішіндегі $\vec{E} = (\vec{a} \cdot \vec{r})\vec{b}$ векторының роторы мен дивергенциясы нөлден өзгеше болғандықтан, зарядтың ешқандай таралуы берілген электр өрісін туғыза алмайды.
2.	Токтың магнит өрісінің кернеулігі $\vec{H} = (\vec{a} \cdot \vec{r})[\vec{b} \cdot \vec{r}]$ (мұндағы \vec{a}, \vec{b} векторлары параллель және координаттар мен уақытқа тәуелді емес, \vec{r} – нүктенің радиус-векторы) болғандағы кеңістіктегі токтың көлемдік тығыздығының таралуын анықтаңыз.	<p>Токтың \vec{j} көлемдік тығыздығы тұрақты магнит өрісінің \vec{H} кернеулігі үшін Максвелл теңдеуінен анықталады:</p> $\text{rot}\vec{H} = \frac{4\pi}{c}\vec{j}$ <p>Осыдан</p> $\vec{j} = \frac{c}{4\pi}\text{rot}\vec{H}$ <p>Көріп отырғандай, осы формула бойынша токтың көлемдік тығыздығын анықтау үшін $\vec{H} = (\vec{a} \cdot \vec{r})[\vec{b} \cdot \vec{r}]$ векторының роторын есептеу керек:</p> $\begin{aligned} \text{rot}\vec{H} &= \text{rot}\left((\vec{a} \cdot \vec{r})[\vec{b} \cdot \vec{r}]\right) \\ &= (\vec{a} \cdot \vec{r})\text{rot}[\vec{b} \cdot \vec{r}] + [\text{grad}(\vec{a} \cdot \vec{r}) \cdot [\vec{b} \cdot \vec{r}]] \\ &= (\vec{a} \cdot \vec{r})(\vec{a}\text{div}\vec{r} - \vec{r}\text{div}\vec{a} + (\vec{r}\nabla)\vec{a} - (\vec{a}\nabla)\vec{r}) \\ &\quad + [\vec{a}[\vec{b} \cdot \vec{r}]] = 2(\vec{a} \cdot \vec{r})\vec{b} + \vec{b}(\vec{a} \cdot \vec{r}) - \vec{r}(\vec{a} \cdot \vec{b}) \\ &= 3(\vec{a} \cdot \vec{r})\vec{b} - (\vec{a} \cdot \vec{b})\vec{r} \end{aligned}$ <p>Сонда токтың көлемдік тығыздығы мынаған тең болады:</p> $\vec{j} = \frac{c}{4\pi}(3(\vec{a} \cdot \vec{r})\vec{b} - (\vec{a} \cdot \vec{b})\vec{r})$ <p>Векторлық өрістің роторын есептеу кезінде скалярлық және векторлық функцияның көбейтіндісінің роторын, екі вектордың векторлық көбейтіндісінің роторын, екі вектордың скалярлық көбейтіндісінің градиентін, вектордың дивергенциясын табу үшін векторлық талдау формулалары, сонымен қатар үш вектордың қос векторлық көбейтіндісінің формуласы қолданылады.</p>

Векторлық талдау элементтерін қолдана отырып, электродинамика есептерін шығарғанда студенттер математикалық аппаратты қолдану тәжірибесіне ие болуы керек:

- 1) векторлық шамаларға келесі амалдарды қолдану: қосу, азайту, векторлық көбейту, скалярлық көбейту, векторлық функцияларды дифференциалдау және интегралдау;
- 2) қисықсыздықты және беттік интегралдарды есептеу;
- 3) векторлық талдау элементтерімен жұмыс істеу: скалярлық өрістің градиентін, векторлық өрістердің дивергенциясын және роторын, векторлық өрістің циркуляциясы мен ағынын есептеу; Стокс теоремасын және Остроградский-Гаусс формуласын қолдану;
- 4) цилиндрлік және сфералық координаттардағы негізгі дифференциалдық операцияларды (градиент, дивергенция және ротор) есептеу.

Қорытынды

Векторлық есептеу - бұл физикалық процестердің, соның ішінде электромагниттік құбылыстардың математикалық модельдерін құруға мүмкіндік беретін әмбебап құрал. Векторлық талдау элементтерімен жұмыс істей білу күрделі есептерді шешудің жолдарын табуға көмектеседі, сондықтан электродинамиканы сәтті игеру үшін математиканың осы бөлімін жақсы білу қажет.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. Несис Е.И. Методы математической физики [Текст] / Е.И. Несис.- М.: Просвещение, 1977.- 199 с.

2. Калжанова Г.К. Методы математической физики [Текст] / Г.К. Калжанова.- Талдықорған: Издательский отдел ЖГУ имени И.Жансугурова, 2020.- 104 с.
3. Күреңкеев Т.Б., Күреңкей Б.Т. Векторлық және тензорлық талдау. Математикалық физика теңдеулері [Мәтін]: Физика-математика факультеттерінің білімгерлеріне арналған оқулық / Т.Б. Күреңкеев, Б.Т. Күреңкей.- Алматы: Эверо, 2014.- 196 б.
4. Жаксыбекова К.А. Основы векторного и тензорного анализа [Текст]: учебное пособие. / К.А. Жаксыбекова, М.А. Жусупов, Р.С. Кабатаева. – 2-е изд., доп. – Алматы: Қазақ университеті, 2015. – 148 с.
5. К. Райли, М. Ховсон, С. Бенс. Физиктер мен инженерлерге арналған математикалық әдістер [Мәтін]: оқулық / К. Райли, М. Ховсон, С. Бенс. - Алматы: ЖОО қауымдастығы, 2013. – 1 том. – 480 б.
6. К. Райли, М. Ховсон, С. Бенс. Физиктер мен инженерлерге арналған математикалық әдістер [Мәтін]: оқулық / К. Райли, М. Ховсон, С. Бенс; Ауд. Ж. Н. Тасмамбетов және т.б.- Алматы: ЖОО қауымдастығы, 2014.- 2 том. – 488 б.
7. Савельев И.В. Основы теоретической физики [Текст] в 2 томах: учебник для вузов / И.В.Савельев. – 6-ое изд.- СПб.: Издательство «Лань», 2022. - Т. 1 – 496 с.
8. Аплеснин С.С., Чернышова Л.И. Основы электродинамики. Теория, задачи и тесты [Текст]: учебное пособие для СПО/ С.С. Аплеснин, Л.И. Чернышова. – СПб.: Издательство «Лань», 2021. – 576 с.
9. Алексеев А.И. Сборник задач по классической электродинамике [Текст]: учебное пособие / А.И. Алексеев. - 2-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 320 с.
10. Крамм М.Н. Сборник задач по основам электродинамики [Текст]: учебное пособие/ М.Н. Крамм. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 256 с.

REFERENCES:

1. Nesis E.I. Metody matematicheskoi fiziki [Tekst] / E.I Nesis.- M.: Prosveenie, 1977.- 199 s.
2. Kalzhanova G.K. Metody matematicheskoi fiziki [Tekst] / G.K. Kalzhanova.- Tal'dykorgan: Izdatelskii otdel JGU imeni I.Jansugurova, 2020.- 104 s.
3. Kúreńkeev T.B., Kúreńkei B.T. Vektorlyq jáne tenzorlyq taldaý. Matematikalyq fizika teńdeýleri [Mátin]: Fızıka-matematika fakýltetteriniń bilimgerlerine arnalǵan oqýlyq / T.B. Kúreńkeev, B.T. Kúreńkei.- Almaty: Evero, 2014.- 196 b.
4. Jaksybekova K.A. Osnovy vektornogo i tenzornogo analiza [Tekst]: ýchebnoe posobie. / K.A. Jaksybekova, M.A. Jýsýpov, R.S. Kabataeva. – 2-e izd., dop. – Almaty: Qazaq ýniversiteti, 2015. – 148 s.
5. K. Railı, M. Hovson, S. Bens. Fızıkter men injenerlerge arnalǵan matematikalyq ádister [Mátin]: oqýlyq / K. Railı, M. Hovson, S. Bens. - Almaty: JOO qaýymdastyǵy, 2013. – 1 tom. - 480b.
6. K. Railı, M. Hovson, S. Bens. Fızıkter men injenerlerge arnalǵan matematikalyq ádister [Mátin]: Oqýlyq / K. Railı, M. Hovson, S. Bens; Áyd. J. N. Tasmambetov jáne t.b.- Almaty: JOO qaýymdastyǵy, 2014.- 2 tom. – 488 b.
7. Savelev I.V. Osnovy teoreticheskoi fiziki [Tekst] v 2 tomah: ýchebnik dlia výzov / I.V.Savelev. – 6-oe izd.- SPb.: Izdatelstvo «Lan», 2022. - T. 1 – 496 s.
8. Aplesnin S.S., Chernyshova L.I. Osnovy elektrodinamiki. Teoriya, zadachi i testy [Tekst]: ýchebnoe posobie dlia SPO/ S.S. Aplesnin, L.I. Chernyshova. – SPb.: Izdatelstvo «Lan», 2021. – 576 s.
9. Alekseev A.I. Sbornik zadach po klassicheskoi elektrodinamike [Tekst]: ýchebnoe posobie / A.I. Alekseev.- 2-e izd., ster. – SPb.: Izdatelstvo «Lan», 2008. – 320 s.
10. Kramm M.N. Sbornik zadach po osnovam elektrodinamiki [Tekst]: ýchebnoe posobie/ M.N. Kramm. – SPb.: Izdatelstvo «Lan», 2011. – 256 s.

ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВ ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Калжанова Г.К.¹, Тулкибекова А.Н.^{2,*}

¹ Жетысуский университет имени И.Жансугурова, Республика Казахстан, г. Талдыкорган

² Жетысуский университет имени И.Жансугурова, Республика Казахстан, г. Талдыкорган

*email: tulkibekovaa@mail.ru

Векторный анализ широко применяется в физике. В работе на основе анализа содержания учебных программ по электродинамике определены темы векторной алгебры и векторного анализа, необходимые для успешного освоения классической электродинамики. Рассмотрены задачи электродинамики, для решения которых применяется математический аппарат векторного анализа. Показано, какими практическими умениями и навыками должны обладать студенты для решения задач электродинамики с применением элементов векторного анализа.

Ключевые слова: векторный анализ, векторная алгебра, теория поля, задачи электродинамики, решение задач.

APPLICATION OF THE BASICS OF VECTOR ANALYSIS IN SOLVING PROBLEMS OF ELECTRODYNAMICS

Kalzhanova G.¹, Tulkibekova A.^{2,*}

¹Zhetysu University named after I. Zhansugurov, Republic of Kazakhstan, Taldykorgan

²Zhetysu University named after I. Zhansugurov, Republic of Kazakhstan, Taldykorgan

*email: tulkibekovaa@mail.ru

Vector analysis is widely used in physics. In the work, based on the analysis of the content of the electrodynamics curricula, the topics of vector algebra and vector analysis necessary for the successful development of classical electrodynamics are determined. The problems of electrodynamics are considered, for the solution of which the mathematical apparatus of vector analysis is used. It is shown what practical skills and abilities students should have in order to solve problems of electrodynamics using elements of vector analysis.

Keywords: vector analysis, vector algebra, field theory, electrodynamics problems, problem solving.