

Дәріс 2. Сфералық астрономия негіздері

Дәріс жоспары

1. Сфералық астрономия
2. Аспан сферасы
3. Сфералық үшбұрыш
4. Аспан сферасындағы шырақтың орналасуы

1. Сфералық астрономия

Денелердің кеңістікте орналасуын және аспан шырақтарына бағытталуын көрсететін ыңғайлы бейнелеу әдісі – координаттар жүйесі. Координаттар жүйесін таңдауы әр аспан денесіне байланысты. Координата басын және координат осьтерін: объектінің бөліктерімен; объектінің динамикалық қасиеттерімен; қозғалыс қасиеттерімен; белгілі уақыт мезетіндегі дененің кеңістікте орналасуымен; басқа арнайы әдістерімен байланыстырады.

Практикалық аспан механикасындағы қолданылатын координаттар жүйесі: тікбұрышты немесе декарт, сфералық, топоцентрлік (гео, гелиоцентрлік) болып бөлінеді.

Астрономияда аспан денелерінің орналасуы мен қозғалысын зерттеу үшін дененің орны екі бұрышпен және қашықтықпен анықталатын сфералық координаталар жүйесі қолданылады.

Сфералық астрономия алуан түрлі координат жүйелерін пайдаланып, аспан денелерінің көрінерлік орындары мен қозғалыстарын анықтаудың математикалық әдістерін қарастырады. Сфералық астрономия математикалық әдістер негізінде сфералық аспан координаттар жүйелерін анықтау, аспан денелерінің координаттарын бір жүйеден басқаға түрлендіру формулаларын шығару, уақытты өлшеу шкалаларын анықтау және олардың арасындағы байланысты тағайындау, астрономиялық бақылау нәтижелерін редукциялау мәселелерімен айналысатын сала. Бұл мақсатта аспанда ойша сфера енгізіліп, осы сфера бетінде координат жүйелері қарастырылады. Бұл – аспан сферасы және аспан координаттары. Сфералық астрономия астрометриямен өте тығыз байланысты.

Астрометрия - аспан денелерінің орны мен қозғалысын, Жердің айналуын және аспан денелері мен Жердің пішінін зерттеп білумен, сондай-ақ уақытты анықтаумен және сақтаумен айналысады. Бұл мәселелерді астрометрия аспандағы бұрыштарды

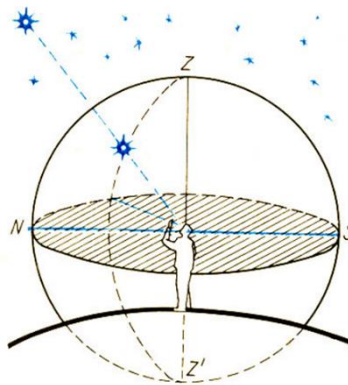
өлшеудің теориялық және техникалық әдістеріне сүйеніп шешеді. Дәлірек айтсақ, астрометрия аспан координаттары жүйелерін жүзеге асыру, аспан денелерінің координаттарын өлшеу, Жердің айналуын мейлінше толық сипаттайтын параметрлер жиынын табу, астрономиялық бақылаулар негізінде дәл уақытты анықтау (уақыт қызметі), күнтізбе құру, жер бетіндегі нүктелердің географиялық координаттарын бақылаулар көмегімен дәл анықтау сияқты мәселелермен, сондай-ақ бұл мәселелерді шешудің теориялық және практикалық әдістерін табумен жері карай жетілдірумен шұғылданады.

Сфералық астрономия мен астрометрияның айырмашылығын былайша көрсетуге болады. Сфералық астрономияның негізгі міндеттерінің бірі аспан координаттар жүйелерін теориялық түрде анықтау (жүйенің негізгі жазықтықтары мен нүктелерін, координат осьтерін ресми келісімдер негізінде тағайындау) болса, астрометрия бұл жүйелерді каталогтар деп аталаты жұлдыздар, радиокөздер, басқа да аспан объектілерінің координаттары мен жылдамдықтарының тізімдері түрінде жүзеге асырады.

2. Аспан сферасы

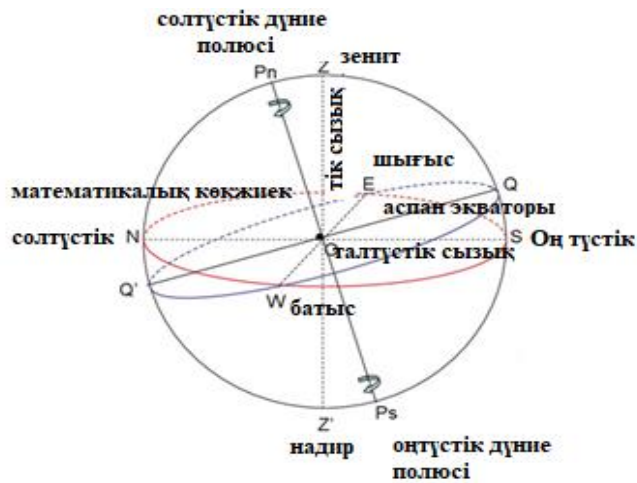
Аспан денелерінің көрінерлік орындарын және қозғалыстарын зерттеу үшін «аспан сферасы» деген ұғым қолданылады. Аспан сферасында шырақтардың тууы және батуы, кульминация сияқты құбылыстарды зерттеуге болады. Шырақтардың тууы, батуы деп математикалық горизонтты қиып өтуін, ал кульминациясы деп аспан меридианын қиып өту құбылысын айтамыз.

Аспан сферасы деп қандай да бір радиуспен сызылған, центрі бақылау нүктесінде орналасқан жорамал сфераны айтады. Сфераның бетіне аспан шырақтарының орны проекцияланады (1 - сурет). Аспан сферасында шырақтардың орындары мен қозғалыстарын зерттеу ыңғайлы болу үшін арнайы сызықтар мен нүктелер белгіленеді.



Сурет 1. Аспан шырақтарының проекциясы

Жазықтығы дүние өсіне перпендикуляр болып келетін аспан сферасының кіші шеңберлері аспан параллелдері деп аталады. Аспан сферасы PP' нүктелері (2 - сурет) дүниенің осі деп аталады. Дүние осі аспан сферасының бетімен екі нүктеде қиылысады: әлемнің солтүстік полюсінде (P_n) және әлемнің оңтүстік полюсінде (P_s). Бұл нүктелерді солтүстік және оңтүстік дүние полюстері деп атайды. Аспан сферасының центрі арқылы өтетін, дүние осіне перпендикуляр жазықтық сфераның аспан экваторы (QQ') деп аталады. Аспан сферасының O центрі арқылы өтетін және бақылау нүктесіндегі штрих сызығының бағытымен сәйкес келетін ZOZ' түзу (2 - сурет) тік сызық деп аталады. Тік сызық аспан сферасының бетімен екі нүктеде қиылысады: Z - зенитінде, O - бақылаушының орналасқан нүктесін қиып өтетін, қарама-қарсы жақта орналасқан Z' - надирде. Бақылау нүктесінен (сфераның центрі) тұрғызылған тік сызық, сфераны зенит (Z) және надир (Z') деп аталатын нүктелерде қиып өтеді. Ал сфераның центрінен өтетін горизонталь жазықтық сфераның математикалық горизонты немесе математикалық көкжиек деп аталады. Яғни, тік сызығына перпендикуляр болатын аспан сферасының үлкен шеңбері ($SWNE$) айтамыз. Математикалық көкжиек аспан сферасының бетін екіге бөледі: бақылаушыға көрінетін шыңы - Z , ал көрінбейтін ең төменгі шыңы - Z' . Зенит, надир және дүние полюстері арқылы өтетін аспан сферасының үлкен шеңбері аспан меридианы деп аталады. Аспан меридианы математикалық горизонтпен екі нүктеде қиылысады. Солтүстік (N) және оңтүстік (S) нүктелері деп аталатын бұл екі нүктені қосатын сызық – талтүстік сызық деп аталады. Аспан экваторы мен математикалық горизонттың қиылысу нүктелері шығыс (E) және батыс (W) нүктелері деп аталады (2 – суретке қараңыз).



Сурет 2. Аспан сферасы

Жазықтығы дүние осіне перпендикуляр болатын $QWQ'E$ аспан сферасының үлкен шеңбері аспан экваторы деп аталады. Аспан экваторы аспан сферасының бетін екі жарты шарға бөледі, солтүстік дүние полюсі P және оңтүстік дүние полюсі P' .

Аспан экваторы математикалық горизонтпен екі нүктеде қиылысады: шығыс E нүктесінде және батыс W нүктесінде. Шығыс және батыс нүктелері арқылы өтетін биіктік шеңберлері бірінші вертикалдар - шығыс және батыс деп аталады.

$PZQSP'Z'Q'N$ аспан сферасының үлкен шеңбері, оның жазықтығы тік сызығы мен дүние осі арқылы өтеді, аспан меридианы деп аталады.

Аспан меридианы аспан сферасының бетін екі жарты шарға бөледі: шығысы E - шығыс нүктесімен және батысы W - батыс нүктесімен.

Аспан меридианының жазықтығы мен математикалық горизонттың жазықтығы NOS түзуінде қиылысады, *оны тал түс сызығы* деп атайды.

Аспан меридианы математикалық көкжиекпен екі нүктеде қиылысады: солтүстік N нүктесінде және оңтүстік S нүктесінде. Солтүстік нүкте - әлемнің солтүстік полюсіне жақын орналасқан нүкте. Оңтүстік нүктесі оңтүстік аспан полюсіне жақынырақ.

3. Сфералық үшбұрыш

Сфералық үшбұрыш деп сфера бетіндегі үш үлкен шеңберлер доғаларынан құралған пішінді айтамыз (3-сурет). Сфералық үшбұрыштың бұрыштары ретінде оны құрайтын үлкен шеңберлердің жазықтықтары арасындағы бұрыштарды алады. Біз

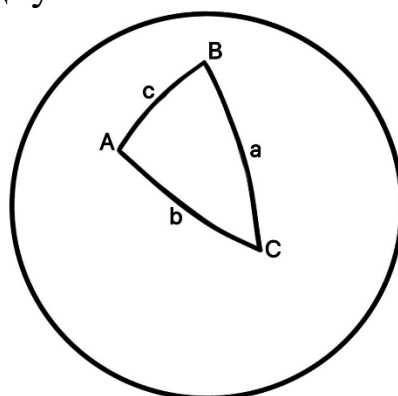
қарастыратын жағдайларда бұл бұрыштардың әр қайсысы 180° тан, ал үшбұрыш бұрыштарының қосындысы сәйкесінше 540° тан аспайды, бірақ 180° тан кем болмайды. Сфералық артық бұрыш σ деп үшбұрыш бұрыштарының қосындысынан 180° ті алып тастағанда шығатын:

$$\sigma < A + B + C - 180^\circ$$

шаманы аламыз. Сфералық үшбұрыштың ауданы

$$S = \sigma \frac{\pi R^2}{180^\circ}$$

мұндағы R – сфера радиусы.



Сурет 3. Сфералық үшбұрыш

Сфералық үшбұрыштардың қабырғалары үлкен шеңберлердің доғалары болғандықтан, оларды сол үшбұрыштардың бұрыштары тәрізді градустармен өлшеу қабылданған. Яғни сфералық үшбұрыштың қабырғасы болып табылатын доға ұзындығы оның ұштарын сфера центрімен қосатын екі радиус-вектордың арасындағы бұрышпен өлшенеді. Сфералық үшбұрыштардың A бұрышына қарама-қарсы жатқан қабырғасын (доғасын) a деп, B бұрышына қарама-қарсы жатқан қабырғасын (доғасын) b деп, C бұрышына қарама-қарсы жатқан c қабырғасын (доғасын) деп белгілейік. Сонда сфералық үшбұрыштар үшін мына формулалар орындалады:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \quad (1)$$

$$\sin a \cos B = \sin c \cos b - \cos c \sin b \cos A \quad (2)$$

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} = \text{const} \quad (3)$$

мұндағы (1) формула косинустар формуласы, (2) формула бес

элементтер формуласы, ал үшінші формула синустар формуласы деп аталады. Осы үш қатынас сфералық үшбұрыштар мәселесін шешуде негізгі рөл атқарады. Сфералық үшбұрыштың бір бұрышы тік болса, мысалы $A=90^\circ$, жоғарғы қатынастардан:

$$\frac{\tan B}{\tan b} = \sin C \quad (4)$$

формуласын шығаруға болады.

4. Аспан сферасындағы шырақтың орналасуы

Аспан сферасындағы шырақтың орналасуы аспан сферасының ортасын шырақ ортасымен байланыстыратын түзумен және қиылысу нүктесімен анықталады. Аспан сферасындағы өлшеулер тек бұрыштық (доғалық) бірліктерде жүргізіледі. Доғаның градустарында (минуттарында, секундтарында) өрнектелген бұрыштық бірліктер мен уақыт бірліктері ($k(d)$ – тәулік, $c(h)$ – сағат, $m(m)$ – минут, $s(s)$ – секунд) арасындағы қатынас мынадай:

$$360^\circ \sim 24h$$

$$15^\circ \sim 1h$$

$$15' \sim 1m$$

$$15'' \sim 1s$$

Аспан сферасының негізгі бағыттары мен негізгі жазықтықтары:

1. *Тік сызық* және оған перпендикуляр *математикалық көкжиек жазықтығы*;

2. *Әлем осі* (Жердің айналу осіне параллель) және оған перпендикуляр *аспан экваторының жазықтығы*;

3. *Эклиптика осі* және оған перпендикуляр *эклиптика жазықтығы*.

Аспан меридианының жазықтығы аспан сферасының ортасы, тік сызық және Әлем осі арқылы өтеді.

Аспан сферасының ортасынан өтетін жазықтықтар: *математикалық көкжиек, аспан экваторы, эклиптика, аспан меридианы* және т.б. Аспан сферасының үлкен де кіші де шеңберлерін бейнелейтін шеңберлер – бұл *альмукуантараттар* және *тәуліктік параллельдер* деп аталады.

Жердің өз осі бойымен айналуы батыстан шығысқа қарай, яғни сағат тіліне қарама-қарсы бағытта жүреді; бұл бағыт әдетте *түзу* деп аталады. Аспан сферасының айналуы Жердің айналуының салдары

болып табылады. Жердің айналу осі *Әлем осі* болып табылады. Жердің солтүстік жарты шарындағы бақылаушы үшін оңтүстікке қараған кезде Жердің айналуы *солдан оңға қарай* (сағат тілімен), яғни оңтүстік арқылы шығыстан батысқа қарай жүреді. Аспан сферасының айналуына аспан меридианының, көкжиектің, альмуқантараттың шеңберлері, сондай-ақ тік және талтүстік сызықтар қатыспайды.

Математикалық көкжиекке қатысты аспан сферасының орнын өзгерту арқылы Әлем осін көкжиекке қарай кез келген жағдайға қисайтуға болады және осылайша бақылаушы үшін сфераны көкжиектен жоғары Әлем полюсінің биіктігіне немесе экватордың оңтүстік нүктесінің зениттік қашықтығына тең кез келген φ географиялық ендікке орнатуға болады.

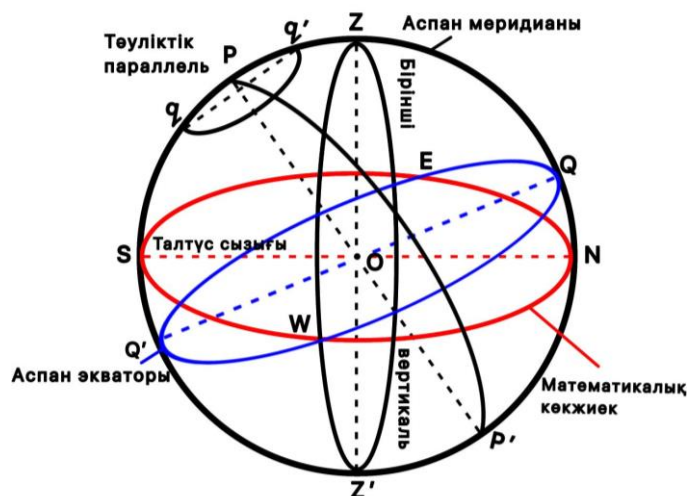
Аспан сферасының негізгі нүктелері (4 - сурет):

1. *зенит* және *надир* (Z және Z') – тік сызықтың аспан сферасымен қиылысу нүктелері;

2. *Әлемнің солтүстік* (P) және *оңтүстік* (P') *полюстері* – әлем остерінің аспан сферасымен қиылысу нүктелері;

3. көкжиек нүктелері: *солтүстік* (C , немесе N) және *оңтүстік* (O , немесе S) – математикалық көкжиектің аспан меридианымен қиылысу нүктесі; *шығыс* ($Ш$, немесе E) және *батыс* ($Б$, немесе W) – математикалық көкжиектің аспан экваторымен қиылысу нүктесі; зенит, надир, шығыс және батыс нүктелерінен өтетін аспан сферасының үлкен шеңбері *бірінші вертикаль* деп аталады;

4. эклиптиканың негізгі нүктелері: *көктемгі* және *күзгі күн мен түннің теңелуі*, *жазғы* және *қысқы күн тоқырауы*.



Сурет 4. Аспан сферасының негізгі сызықтары мен нүктелері

Аспан шырақтарының өзара орналасуы және көрінетін қозғалысы астрономиялық координаттардың таңдалған жүйесі арқылы орнатылады. Шырақ координаттарын (аспан сферасының нүктелері) анықтау әдісі жер бетіндегі нүктенің географиялық координаттарын анықтау әдісіне ұқсас.

Аспан сферасының негізгі шеңбері таңдалады (математикалық көкжиек, аспан экваторы, эклиптика және т.б.), оның атауы координаттар жүйесінің атауына сәйкес келеді және жүйенің полюсінен (зенит нүктелері, Әлем полюстері, эклиптика полюстері және т.б.) негізгі шеңбермен қиылысқанға дейін үлкен шеңбердің доғасы (биіктік шеңбері) арқылы өткізіледі. Бірінші координат (астрономиялық азимут, сағат бұрышы, тік шарықтау, эклиптикалық бойлық және т. б.) негізгі шеңбердің доғасымен таңдалған (шартты) санау басынан (оңтүстік нүктеден, экватордың жоғарғы (оңтүстік) нүктесінен, көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінен және т. б.) сәйкес биіктік шеңберіне (биіктік шеңберлері, ауытқу, эклиптикалық ендік) дейін өлшенеді. Екінші координат (биіктік, қисаю, эклиптикалық ендік және т. б.) негізгі шеңберден шыраққа дейінгі биіктік шеңберінің доғасымен өлшенеді.

Көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінің орнын анықтау үшін, ең алдымен, аспан сферасының дұрыс айналу бағытын белгілеу қажет. Күн эклиптика арқылы сфераның айналуына қарай, яғни тікелей бағытта, батыстан шығысқа қарай қозғалатынын есте ұстаған жөн. Күн мен түннің теңелуінің екі нүктесінен оңтүстік жарты шардан солтүстікке ауысу кезінде Күн орналасқан нүкте көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесі болады. Көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесі - экваторлық координаттар жүйесіндегі тікелей шығулар мен эклиптикалық координаттар жүйесіндегі бойлықтарды санаудың басталу нүктесі.

Екінші дәріс бойынша бақылау сұрақтары:

1. Координаттар жүйесі дегеніміз не?
2. Практикалық аспан механикасындағы қолданылатын координаттар жүйелерін атаңыз.
3. Сфералық координаталар жүйесі қалай қолданылады?
4. Астрометрия қандай ғылым?
5. Сфералық астрономия мен астрометрияның айырмашылығы қандай?
6. Аспан сферасы дегеніміз не?

7. Аспан параллелдері қайда орналасқан?
8. Тік сызық деп?
9. Математикалық көкжиекті аспан сферасының моделінен көресетіңіз.
10. Аспан меридианы аспан сферасының моделінен көресетіңіз.
11. Талтүстік сызық деп....?
12. Аспан экваторы деп...?
13. Сфералық үшбұрыш деп....?
14. Аспан сферасындағы өлшеулерді атаңыз.
15. Аспан сферасының негізгі бағыттары мен негізгі жазықтықтарын атаңыз.
16. Аспан сферасының үлкен де кіші де шеңберлерінің қалай атаймыз.
17. Аспан сферасының негізгі нүктелерін атаңыз.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1. Кононович Э. В., Мороз В. И. Общий курс астрономии: Учебное пособие / Под ред. В. В. Иванова. Изд. 2-е, испр. - М.: Едиториал УРСС, 2004. - 544 с. ISBN 5-354-00866-2
2. Кенжалиев Д. И. Астрономия: Жоғарғы оқу орындарының студенттеріне арналған оқу құралы. – Алматы: Эверо, 2020. – 416 б. ISBN 978-601-240-246-9
3. Жаңабаев З.Ж., Наурызбаева А.Ж., Ізтілеуов Н.Т. Жалпы астрономия: Жоғарғы оқу орындарының студенттеріне арналған оқу құралы. – Алматы: Қазақ университеті, 2010. – 184 б. ISBN 9965-30-995-7