32.3 वायुमण्डल की संरचना
(Structure of Atmosphere)

पृथ्वी के वायुमण्डल की रचना कई सकेन्द्रीय परतों या मण्डलों (concentric layers or zones) से हुई है। वायुमण्डल

की परतीय संरचना (layered structure) का दो आधारों पर वर्गीकरण किया गया है: (1) तापीय विशेषता, तथा (2) रासायनिक विशेषता।

(अ) तापीय विशेषताएँ

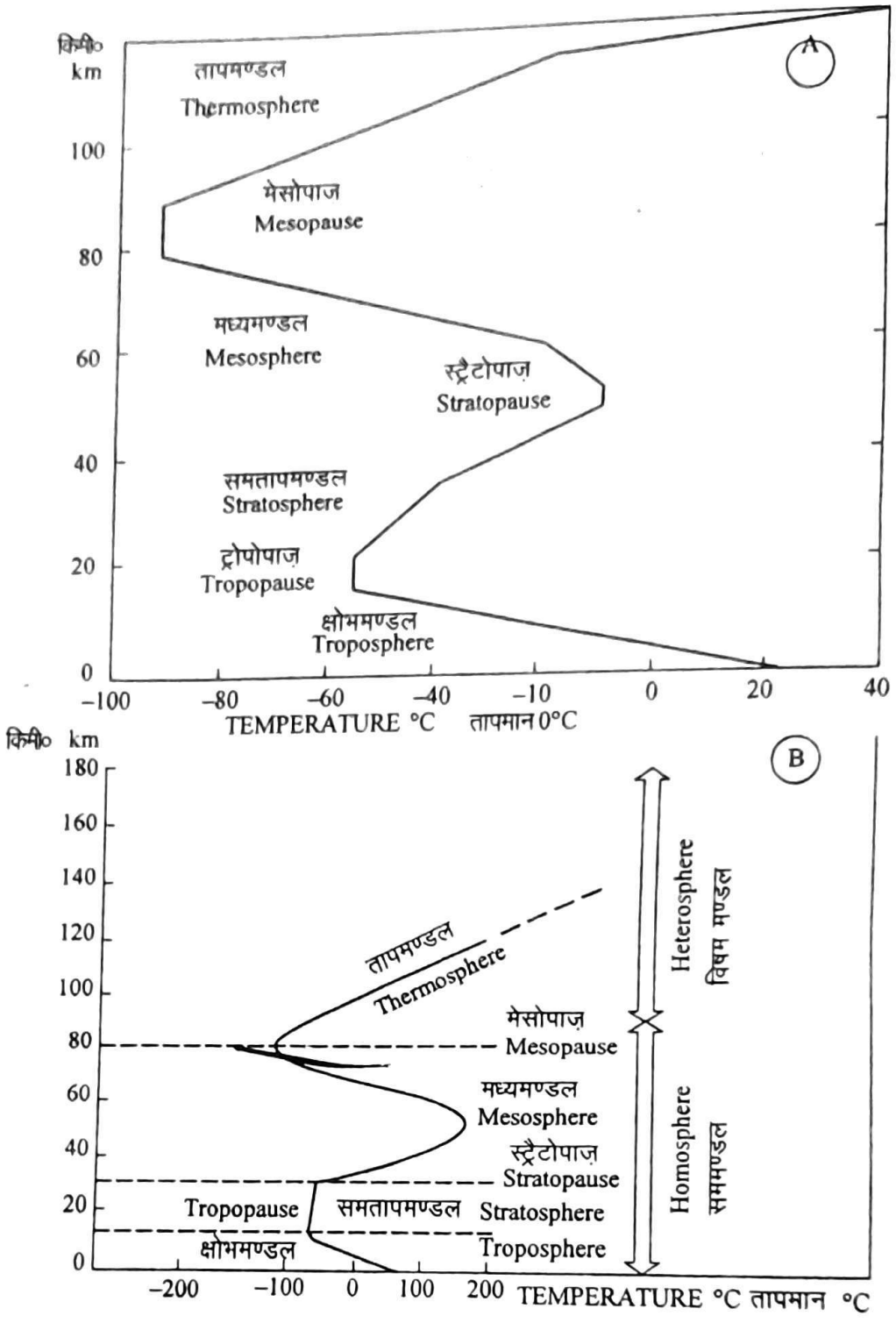
तापमान एवं वायुदाब की विशेषताओं के आधार पर वायुमण्डल के स्तरीकरण को विभिन्न विज्ञानियों ने अलग-अलग रूपों में विभाजित किया है। उदाहरण के लिए, **एस० पेटरसन** ने पृथ्वी के चारों ओर व्याप्त वायुमण्डल को पाँच लम्बवत् मण्डलों में विभाजित किया है: (1) क्षोभमण्डल (परिवर्तन मण्डल), (2) समतापमण्डल, (3) ओजोन मण्डल, (4) आयन मण्डल, तथा (5) आयतन मण्डल। ज्ञातव्य है कि अधिकांश वैज्ञानिकों ने ओजोन मण्डल को समतापमण्डल तथा आयन मण्डल को आयतन मण्डल में सम्मिलित किया है। सामान्य रूप में वायुमण्डल में ऊँचाई के साथ चार तापीय मण्डल पाये जाते हैं: (1) परिवर्तनमण्डल या क्षोभ मण्डल, (2) समतापमण्डल, (3) मध्यमण्डल, तथा (4) तापमण्डल।

क्षोभमण्डल

(troposphere)

वायुमण्डल की सबसे निचली परत को **परिवर्तन मण्डल** या क्षोभमण्डल कहा जाता है। इस परत का '**ट्रोपोस्फीयर**' के रूप में नामकरण **टीजरेन्स डी बोर्ट** ने किया है। '**ट्रोपोज**' ग्रीक भाषा का शब्द है जिसका अर्थ '**मिश्रण**' (mixing) या '**विक्षोभ**' (turbulence) होता है। इसी कारण से इस परत या मण्डल को **विक्षोभ मण्डल** (turbulent zone) भी कहा जाता है। इस परत को विक्षोभ एवं भंवर (eddies) के प्रभुत्व के कारण **संवहनीय परत** भी कहा जाता है। मौसम एवं जलवायु की दृष्टि से क्षोभमण्डल सर्वाधिक महत्वपूर्ण होता है क्योंकि मौसम सम्बन्धी सभी घटनायें (यथा: वाष्पीकरण, संघनन एवं विभिन्न रूपों में वर्षण-कुहरा, बादल, ओस, पाला, हिम वर्षा, ओलावृष्टि, जलवर्षा, बादलों की गरज, बिजली की चमक, तड़ितझंझा, वायुमण्डलीय तूफान-चक्रवात, हरिकेन, टारनैडो, टाइफून आदि) इसी मण्डल में घटित होती हैं। इस मण्डल में वायुमण्डल के समस्त गैसीय द्रव्यमान (mass) का 75 प्रतिशत केन्द्रित है। इसके अलावा अधिकांश जलवाष्प, एयरोसॉल तथा प्रदूषक (pollutants) भी इसी मण्डल में पाये जाते हैं। जीवधारियों की दृष्टि से भी क्षोभमण्डल सर्वाधिक महत्वपूर्ण है क्योंकि मानव सहित सभी जीवित जीवों का अस्तित्व क्षोभमण्डल में होने वाली मौसमी घटनाओं के कारण ही सम्भव हो पाया है। इस मण्डल को **परिवर्तन मण्डल** इसलिए कहा जाता है कि इसमें ऊँचाई के साथ तापमान, जलवाष्प, एयरोसॉल एवं गैसों के अनुपात में परिवर्तन होता जाता है।

सामान्यतया क्षोभमण्डल को दो या तीन उपमण्डलों में विभक्त किया जाता है। यदि क्षोभमण्डल को द्विमण्डल सिस्टम (two-zone system) माना जाय तो (1) **निचली परत** को **घर्षण**



चित्र 32.1 : वायुमण्डल का स्तरीकरण। A आर० जी० बेरी एवं आर० जे० शोर्ले के अनुसार; B ए० एन० स्ट्रालर के अनुसार। निचले चित्र B में आधार रेखा पर O की बांयी ओर के अंक माइनस (–) में हैं।

परत (friction layer) कहते हैं जिसकी ऊँचाई धरातलीय सतह से 1 से 3 किलोमीटर तक होती है। इसे घर्षण परत इसलिए कहा जाता है कि धरातलीय सतह द्वारा हवाओं की दिशा एवं गति में अधिकतम घर्षण (friction) एवं रुकावट उत्पन्न होती है। इस निचली परत में **तापीय प्रतिलोमन** (inversion of temperature) की क्रिया भी सर्वाधिक सक्रिय होती है। यह स्थिति उस समय

उत्पन्न होती है जब गर्म हवा अपेक्षाकृत ठंडी हवा के ऊपर आ जाती है। धरातलीय दशाओं में दिन-प्रतिदिन बदलाव से यह परत अत्यधिक प्रभावित होती है। (2) **ऊपरी परत** धरातलीय घर्षण से अधिक प्रभावित नहीं होती है। इस पर दैनिक धरातलीय दशाओं में परिवर्तन का न्यूनतम प्रभाव होता है। यह परत द्वितीयक वायुमण्डलीय संचरण (secondary atmospheric circulation) यथा: चक्रवातीय एवं प्रतिचक्रवातीय संचरण से सर्वाधिक प्रभावित होती है।

क्षोभमण्डल की सर्वाधिक महत्वपूर्ण विशेषता यह है कि इसमें बढ़ती ऊँचाई के साथ में प्रति 1000 मीटर पर 6.5° सें० की दर से तापमान में कमी होती जाती है। तापमान की गिरावट की इस दर को तापमान का **सामान्य पतन दर** (normal lapse rate) कहते हैं। ऊँचाई के साथ तापमान में यह कमी ऊँचाई के साथ वायुमण्डलीय गैसों के घनत्व, वायुदाब एवं कणिकीय पदार्थों (particulate matter) में कमी के कारण होती है। ज्ञातव्य है कि वायुमण्डल का निचला भाग सौर्यिक विकिरण के अवशोषण के कारण गर्म नहीं होता है वरन् धरातल से ऊष्मा के निचले वायुमण्डल में परिचालन (conduction), संवहन (convection) एवं विकिरण विधियों से स्थानान्तरण से गर्म होता है। निचले क्षोभमण्डल में **तापीय प्रतिलोमन** (inversion of temperature) की भी घटना होती है जिसके अन्तर्गत कुछ परिस्थितियों एवं दशाओं में ऊँचाई के साथ तापमान में वृद्धि होती है अर्थात् अपेक्षाकृत ठंडी हवा के ऊपर गर्म हवा होती है।

ट्रोपोपाज (क्षोभमण्डल की ऊपरी सीमा को ट्रोपोपाज कहते हैं) की भूमध्य रेखा एवं ध्रुवों पर ऊँचाई क्रमश: 17 किमी० एवं 9 से 10 किमी० होती है। इसकी ऊँचाई में मौसमी परिवर्तन भी होता है।

भूमध्य रेखा पर ट्रोपोपाज पर तापमान न्यूनतम (-70° सें०) है (अधिक ऊँचाई के कारण) परन्तु ध्रुवों पर अपेक्षाकृत अधिक है। चूँकि ऊँचाई के साथ प्रति 1000 मीटर पर 6.5° सें० तापमान कम होता जाता है अत: यह स्वाभाविक है कि भूमध्य रेखा के ऊपर ट्रोपोपाज की 17 किमी० की ऊँचाई पर तापमान ध्रुवों के ऊपर ट्रोपोपाज पर तापमान की अपेक्षा अधिक कम हो। वास्तव में **ट्रोपोस्फीयर** का शाब्दिक अर्थ होता है **'मिश्रण का मण्डल या प्रदेश'** (zone or region of mixing) जबकि ट्रोपोपाज का अर्थ होता है **'जहाँ मिश्रण रुक जाता है'** (where mixing stops)।

समतापमण्डल
(Stratosphere)

ट्रोपोपाज के ऊपर वाली परत को **समतापमण्डल** कहा जाता है। इस मण्डल की खोज तथा अध्ययन सर्वप्रथम **टीजरेन्स डी बोर्ट** द्वारा 1902 में किया गया। इस मण्डल की ऊँचाई, मोटाई एवं तापीय दशा के विषय में परस्पर विरोधी मत हैं। प्रारम्भ में इस मण्डल को **समतापी** (isothermal) माना गया था अर्थात् इस पूरे मण्डल में तापमान न तो ऊँचाई के साथ बढ़ता है और न ही घटता है, वरन समान रहता है। परन्तु इस विचारधारा का अब खण्डन कर दिया गया है। कुछ लोगों ने समताप मण्डल की मध्य अक्षांशों के ऊपर ऊँचाई 25-30 किमी० बतायी है, जबकि दूसरा वर्ग इसे 80 किमी० बताता है। औसत रूप में समताप मण्डल की ऊँचाई 50 किमी० मानी गयी है। इस मण्डल में तापमान में परिवर्तन होता है या नहीं होता है पर भी मतान्तर है। कुछ विद्वानों का मानना है कि स्ट्रैटोस्फीयर समतापी है अर्थात् ऊँचाई के साथ तापमान में किसी भी तरह (वृद्धि या ह्रास) का परिवर्तन नहीं होता है जबकि कुछ विद्वानों का मानना है कि ऊँचाई के साथ तापमान में वृद्धि होती है तथा यह 50 किमी० की ऊँचाई, जो इस मण्डल की ऊपरी सीमा है, पर तापमान 0°C (32°F) हो जाता है। समतापमण्डल की ऊपरी सीमा को **स्ट्रैटोपाज** कहते हैं। तापमान में वृद्धि इस मण्डल में मौजूद ओजोन गैस द्वारा सौर्यिक पराबैंगनी विकिरण तरंगों के अवशोषण एवं कम घनत्व वाली विरल हवा के कारण होती है। स्थिर दशा, शुष्क पवन, मन्द पवन संचार, बादलों का प्राय: अभाव, ओजोन के सान्द्रण आदि के कारण इस मण्डल में मौसम की घटनायें कम ही घटित होती हैं। कभी-कभी निचले समतापमण्डल में सिरस बादल, जिन्हें **'मदर ऑफ पर्ल क्लाउड'** या **'नैक्रियस क्लाउड'** कहते हैं दिखाई पड़ जाते हैं। निचला समतापमण्डल जीवमण्डलीय पारिस्थितिक तंत्र के जीवों के लिए अधिक महत्वपूर्ण होता है क्योंकि इसी में जीवन रक्षक **ओजोन गैस** (O_3) का 15-35 किमी० के मध्य सर्वाधिक सान्द्रण होता है। ओजोन का सर्वाधिक सान्द्रण 20-25 किमी० की ऊँचाई पर होता है, यद्यपि ओजोन की स्थिति का 80 किमी० की ऊँचाई तक पता लगाया गया है।

अत्यधिक ओजोन वाली निचली परत को **ओजोनमण्डल** कहते हैं जो 15 से 35 किमी० तक विस्तृत है, यद्यपि ओजोन मण्डल की ऊपरी सीमा 55 किमी० निश्चित की गयी है। ओजोन का अर्थ, उसके निर्माण एवं विनाश की प्रक्रियाओं का उल्लेख पहले किया जा चुका है। हाल के शोधों से पता चला है कि ओजोन परत का क्षरण हो रहा है।

मध्यमण्डल
(Mesosphere)

मध्य मण्डल का विस्तार सागर तल से 50 से 80 किलोमीटर की ऊँचाई तक पाया जाता है। इस मण्डल में ऊँचाई के साथ तापमान में पुन: गिरावट होने लगती है। ज्ञातव्य है कि स्ट्रैटोपाज पर तापमान की वृद्धि समाप्त हो जाती है। इसके ऊपर तापमान घटने लगता है। मध्य मण्डल की ऊपरी सीमा अर्थात् 80 किलोमीटर की ऊँचाई पर तापमान-80° सें०

हो जाता है तथा यह -100° से -133° सें० तक हो सकता है। मध्य मण्डल की इस ऊपरी सीमा को **मेसोपाज** (mesopause) कहते हैं। इस सीमा के ऊपर जाने पर तापमान बढ़ने लगता है। वास्तव में 80 किमी० की ऊँचाई के बाद मेसोपाज तापीय प्रतिलोमन (inversion of temperature) को इंगित करता है क्योंकि इसके नीचे कम तापमान रहता है परन्तु इसके ऊपर अधिक तापमान रहता है। इस मण्डल में **नाक्टीलूसेण्ट बादलों** का ध्रुवों के ऊपर गर्मियों में दर्शन होता है। इन बादलों का निर्माण उल्का धूल (meteoric dusts) एवं संवहनीय प्रक्रिया द्वारा ऊपर लायी गयी आर्द्रता के सहयोग से संघनन (condensation) होने से होता है। इस परत में वायुदाब बहुत कम होता है जो 50 किलोमीटर की ऊँचाई अर्थात् स्ट्रेटोपाज पर 1.0 मिलीबार तथा मेसोपाज (अर्थात् 90-100 किमी०) पर 0.01 मिलीबार होता है।

तापमण्डल

(Thermosphere)

मध्यमण्डल (mesosphere) से ऊपर स्थित वायुमण्डल के भाग को तापमण्डल कहते हैं जिसमें बढ़ती ऊँचाई के साथ तापमान तीव्र गति से बढ़ता है परन्तु अत्यन्त कम वायुमण्डलीय घनत्व के कारण वायुदाब न्यूनतम होता है। यह अनुमान किया गया है कि तापमण्डल की ऊपरी सीमा, जो अब तक निश्चित नहीं की जा सकी है, पर तापमान 1700° सें० रहता है। ज्ञातव्य है कि इस उच्च तापमान का साधारण थर्मामीटर से मापन (measurement) नहीं किया जा सकता क्योंकि यहाँ पर वायुमण्डलीय गैसें अत्यन्त न्यून घनत्व के कारण बहुत अधिक हल्की हो जाती हैं। यही कारण है कि यदि यहाँ पर हाथ बाहर फैलाया जाय (यदि यह सम्भव हो सके) तो गर्मी महसूस नहीं होगी। विशिष्टताओं में विभिन्नताओं के आधार पर मध्य मण्डल को दो उपमण्डलों में विभाजित किया जाता है: (1) आयनमण्डल, तथा (2) आयतनमण्डल।

(1) **आयन मण्डल (ionosphere)** : आयन मण्डल का वायुमण्डल में सागर तल से 80 से 640 किमी० के बीच विस्तार पाया जाता है। इस मण्डल में ऊंचाई के साथ कई परतों का निर्धारण किया गया है : D, E, F तथा G परतें। (i) **D परत** का विस्तार 80 से 99 किमी० के मध्य है। यह परत न्यून आवृत्ति (low frequency) वाली रेडियो तरंगों का परावर्तन करती है अर्थात् यह निम्न आवृत्ति वाली रेडियो तरंगों के सिग्नल को वापस भेज देती है परन्तु मध्यम एवं उच्च आवृत्ति वाली रेडियो तरंगों के सिगनल्स को सोख लेती है। यह परत सूर्यास्त के साथ ही लुप्त हो जाती है क्योंकि यह सौर्यिक विकिरण से सम्बन्धित होती है। (ii) **E परत** को **केनली-हेवीसाइड परत** भी कहा जाता है, इसका विस्तार 99 से 130 किमी० की ऊँचाई तक सीमित होता है। यह परत मध्यम एवं उच्च आवृत्ति वाली रेडियो तरंगों को परावर्तित करके पृथ्वी की ओर वापस भेज देती है। इस परत का निर्माण सौर्यिक पराबैंगनी फोटान का नाइट्रोजन एवं नाइट्रोजन अणुओं (nitrogen molecules) के साथ अभिक्रिया (reactions) होने से होता है। इस परत का भी सूर्यास्त के साथ ही अवसान हो जाता है। (iii) **छिटपुट** (sporadic) **E परत** का सम्बन्ध तेज गति वाली हवाओं के साथ होता है तथा इसका निर्माण विशेष दशाओं एवं परिस्थितियों में होता है। यह परत अति उच्च आवृत्ति वाली रेडियो तरंगों को पृथ्वी की ओर वापस परावर्तित कर देती है। (iv) **E_2 परत** सामान्यतया 150 किमी० की ऊँचाई पर पायी जाती है। इस परत का निर्माण पराबैंगनी सौर्यिक फोटान का आक्सीजन अणुओं के साथ अभिक्रिया होने से होता है। इस परत का भी, इसी कारण से (क्योंकि यह अभिक्रिया दिन में ही हो सकती है), सूर्यास्त के बाद रात में लोप हो जाता है। (v) **F परत** का निर्माण दो उप परतों से हुआ है: F1 तथा F2 परतें, ये सम्मिलित रूप से **अप्लीटन परत** (appleton layer) के नाम से जानी जाती हैं तथा 150 से 380 किमी० ऊँचाई तक पायी जाती हैं। यह परत मध्यम एवं उच्च आवृत्ति वाली रेडियो तरंगों को पृथ्वी की ओर वापस परावर्तित कर देती है। (vi) **G परत** 400 किमी० से ऊपर पायी जाती है, अर्थात् 400 से 640 किमी० के मध्य। सम्भवत: इसकी स्थिति दिन एवं रात दोनों वक्त रहती है परन्तु इसका पता लगाना सम्भव नहीं है।

(2) **आयतनमण्डल (exosphere)** : आयतनमण्डल वायुमण्डल के सबसे ऊपरी भाग को प्रदर्शित करता है। वास्तव में हमें 640 किमी० से ऊपर वाले वायुमण्डल के विषय में बहुत कम जानकारी उपलब्ध है। घनत्व अत्यन्त कम हो जाता है तथा वायुमण्डल अत्यन्त विरल होने के कारण नीहारिका (nebula) जैसा प्रतीत होता है। इसकी वाह्य सीमा पर तापमान 5568° सें० हो जाता है परन्तु यह तापमान धरातलीय वायु के तापमान से सर्वथा भिन्न होता है क्योंकि इसे महसूस नहीं किया जा सकता है।

उल्लेखनीय है कि आयन मण्डल के ऊपर वाले वायुमण्डल को **वाह्य वायुमण्डल** (outer atmosphere) कहा जाता है जिसके अन्तर्गत **आयतनमण्डल** एवं **चुम्बकमण्डल** (magnetosphere) को सम्मिलित किया जाता है। इस मण्डल में **वान अलेन रैडियेशन बेल्ट** की स्थिति होती है जिसमें पृथ्वी के मैग्नेटिक फील्ड द्वारा पकड़े गये (trapped) आवेशित कण (charged particles) पाये जाते हैं। इस मण्डल की महत्वपूर्ण विशेषता इसमें **औरोरा आस्ट्रालिस** एवं **औरोरा बोरियालिस** की होने वाली घटनायें हैं। अरोरा का शाब्दिक अर्थ होता है 'प्रात:काल' (dawn) जबकि बोरियालिस तथा आस्ट्रालिस का अर्थ क्रमश: 'उत्तरी' एवं 'दक्षिणी' होता है। इसी कारण उन्हें **'उत्तरी ध्रुवीय प्रकाश'** (aurora borealis) एवं **'दक्षिणी ध्रुवीय प्रकाश'** (aurora australis) कहा जाता है। वास्तव में औरोरा

ब्रह्माण्डीय चमकते प्रकाश (cosmic glowing lights) होते हैं जिनका निर्माण चुम्बकीय तूफान के कारण सूर्य की सतह से विसर्जित इलेक्ट्रान तरंग (stream of electrons discharged from the sun's surface) के कारण होता है। औरोरा ध्रुवीय आकाश में लटके विचित्र बहुरंगी आतिशबाजी (multicoloured fireworks) की तरह दिखाई पड़ते हैं। ये प्राय: आधी रात के समय दृष्टिगत होते हैं।