కిరణజన్య సంయోగక్రియ

మనం అందరం ఊపిరి తీసుకుంటాం. ఊపిరి తిత్తుల నిండా గాలి నింపుకుని తిరిగి ఆ శ్వాసను బయటికి వదిలేస్తాం.

మనం లోపలికి తీసుకున్న గాలిలో ఐదవ వంతు ఆక్సిజన్ ఉంటుంది. ఆ ఆక్సిజన్ మన శరీరంలో కార్బన్, హైడ్రోజన్ ఉన్న పదార్థాలతో కలుస్తుంది. ఆ కార్బన్ ఆక్సిజన్‌తో కలిసి కార్బన్డయాక్సయిడ్ గా మారుతుంది. హైడ్రోజన్ ఆక్సిజన్ తో కలిసి నీరు అవుతుంది.

మనం శ్వాస బయటికి విడిచినప్పుడు ఆ గాలిని లోనికి తీసుకున్నప్పుడు ఉన్న ఆక్సిజన్ లో కొంత ఆక్సిజన్ లోపిస్తుంది. ఆ ఆక్సిజన్ కి బదులుగా కొంత కార్బన్డయాక్సయిడ్ ని, కొంత ఆవిరిని బయటికి వదులుతాం. ఈ ప్రక్రియనే రెస్పిరేషన్ (శ్వాస) అంటారు. ఇది పదే పదే ఊపిరి తీసుకోవడం అన్న అర్థం గల లాటిన్ పదం నుండి వచ్చింది.

మనం అనుక్షణ ఊపిరి తీసుకుంటూ ఉంటాం. మనుషులే కాదు జంతువులూ అలాగే చేస్తాయి. ఈ ఉచ్ఛ్వాస నిశ్వాసలు భూమి మీద జంతువులు కొన్ని కో ట్ల ఏళ్లుగా తీసుకుంటున్నాయి. మరి అటువంటప్పుడు వాతావరణంలో ఉన్న ఆక్సిజన్ అంతా ఈ పాటికి ఎందుకు హరించుకుపోలేదు? ఆక్సిజన్ స్థానంలో కార్బన్ డయాక్సయిడ్, నీరు ఎంజీదుకు నిండిపోలేదు?

అలాగే శరీరంలో కార్బన్, హైడ్రోజన్ లు ఉన్న పదార్థాల మాటేమిటి? మనం లోనికి తీసుకునే ఆక్సిజన్ తో అవి కలిసిపోతూ ఉంటే అవి క్రమంగా ఎందుకు హరించుకుపోవు?

శరీరంలోని కార్బన్, హైడ్రోజన్ లని భర్తీ చెయ్యాలంటే ఆ పదార్థాలు ఉన్న ఆహారం తినాలి. మరి కార్బన్, హైడ్రోజన్ ఉన్న ఆహారం మనకు ఎక్కడ దొరుకుతుంది? మనం రకరకాల మొక్కలు, పళ్లు, కూరగాయలు తింటాం. మనం కో ళ్లు, పశువులు, గొర్రెలు, పందులు మొదలైన జంతు మాంసం తింటాం. ఆ జంతువులు మళ్లీ శాకాహారం తింటాయి. చిట్టచివరికి కార్బన్, హైడ్రోజన్ మొక్కల నుండే లభ్యం అవుతాయి. ప్రత్యక్షంగానో, పరోక్షంగానో మొత్తం జంతులోకానికి మొక్కలే ఆహారం అవుతాయి.

మరి మొక్కలకి కార్బన్, హైడ్రోజన్ లు ఎక్కడ దొరుకుతాయి? ఆవి భోజనం చెయ్యవు కదా?!!

కనుక మనకిప్పుడు రెండు ముఖ్యమైన ప్రశ్నలు ఎదురవుతాయి. మన చుట్టూ ఉన్న గాలిని ఖాళీ చేసేయకుండా మనం ఊపిరి ఎలా తీసుకోగలుగుతున్నాం? భూమి మీద ఆహార వనరులని హరించేయకుండా మన ఎలా తిని మనగలుగుతున్నాం?

గాలి మీద పరిశోధన కన్నా మొక్కల మీద పరిశోధన సులభం. ఎందుకంటే అవి కంటికి కనిపిస్తాయి. అవి ఏపుగా ఎదగడం చూడొచ్చు. మరి వాటిని మట్టిలో నాటి నీరు పోస్తే తప్ప పెరగవు. అంటే మట్టి, నీరు మొక్కలోని పదార్థంగా మారుతున్నాయి అన్నమాట.

ఈ సంగతేంటో తేల్చుకుందామని 1643లో జాన్ బాప్టిస్టా హెల్మాంట్ అనే బెల్జియన్ శాస్త్రవేత్త ఓ ప్రయోగం చేశాడు. ఓ పెద్ద తొట్టెలో మట్టి తీసుకుని, దాని బరువు తూచి, అందులో ఓ విల్లో మొక్కని నాటాడు. తను పోసే నీరు తప్ప మట్టిలోకి ఏమీ జొరబడకుండా మట్టిని కప్పి ఉంచాడు. ఆ చెట్టును అలా ఐదేళ్ల పాటు నీరు పోసి పెంచాడు. అప్పుడు ఆ చెట్టును వేళ్లతో పాటూ పెకలించి, వేళ్లకి అంటిని మట్టిని విదిలించి తిరిగి ఆ మట్టిని తొట్టెలోనే పోశాడు.

విల్లో చెట్టు బరువు తూయగా 164 పౌన్లు ఉందని తేలింది. కాని మట్టి బరువు మాత్రం రెండు ఔన్సులు మాత్రమే తగ్గింది. మొక్కలోని పదార్థంగా మారింది మట్టి కాదు, అందులో పోసిన నీరేనని నిర్ధారించాడు హెల్మాంట్.

అంటే హెల్మాంట్ కాలంలో వివిధ పదార్థాలలో వివిధ రకాల పరమాణువులు ఉంటాయని తెలీదు. నీటిలో హైడ్రోజన్, ఆక్సిజన్ పరమాణువులు మాత్రమే ఉంటాయని, మొక్కల్లో హైడ్రోజన్, ఆక్సిజన్, కార్బన్ పరమాణువులు కూడా ఉంటాయని హెల్మాంట్ కి తెలీదు.

అయితే హెల్మాంట్ పెంచిన చెట్టును పోషించింది కేవలం మట్టి, నీరు మాత్రమే కాదు. గాలి కూడా దాన్ని పోషించింది. అయితే హెల్మాంట్ ఆ విషయాన్ని పరిగణన లోకి తీసుకోలేదు. అతడే   కాదు ఆ రోజుల్లో ఎవరూ ఆవిషయాన్ని పట్టించుకోలేదు. చూడలేమని, తాకలేమని కాబోలు గాలిని నిర్లక్ష్యం చేస్తూ వచ్చారు.

హెల్మాంట్ గాలి మీద కూడా పరిశోధనలు చేస్తూ వచ్చాడు. గాలిలో రకాలు ఉన్నాయని గుర్తించిన వారిలో మొట్టమొదటి వాడు అతడు. వాయువులు అదృశ్యమైనవి కనుక, అరూపమైనవి కనుక అవి ప్రాచీన గ్రీకులు చెప్పిన కెయాస్ లాంటివి, అంటే కల్లోలితమైన, రూపరహితమైన తత్వాలు అయ్యుంటాయని ఊహించాడు హెల్మాంట్. ఈ కెయాస్ అనే పదాన్ని హెల్మాంట్ తన స్వభాషలో తనకి చేతనైనట్టు ఉచ్ఛరించాడు. ఆ దెబ్బకి కెయాస్ కాస్తా గ్యాస్ గా మారింది! అందుకే ఇప్పటికీ మనం గాలిని, గాలి లాంటి పదార్థాలని గ్యాస్ లు అంటే వాయువులు అని పిలుస్తాం.

కట్టెని కాల్చినప్పుడు పుట్టే వాయువుకి, మామూలు గాలికి మధ్య తేడా ఉందని గుర్తించాడు హెల్మాంట్. గాలిలో మండినట్టుగా మండే కర్ర నుండి పుట్టిన ఆ వాయువులో వస్తువులు మండవు. ఈ కొత్త వాయువు నీట్లో కరుగుతుంది. మామూలు గాలి కరగదు. హెల్మాంట్ పరిశీలించిన వాయువు ప్రస్తుతం మన కార్బన్డయాక్సయిడ్ అని పిలిచే వాయువు.

మొక్కల పెరుగుదలకి కార్బన్డయాక్సయిడ్ చాలా ముఖ్యం అన్న సంగతి హెల్మాంట్ కి తెలీదు.

తక్కిన శాస్త్రవేత్తలకి కూడా గాలి మీదకి గాలి మళ్ళింది. స్టెఫెన్ హేల్స్ (1677–1761) అనబడే బ్రిటిష్ శాస్త్రవేత్త వాయువులని చాలా క్షుణ్ణంగా పరిశోధించాడు. మొక్కల పెరుగుదలలో వాయువుల పాత్ర ఏమైనా ఉందా అని 1727లో ఆయనకి ఓ సందేహం కలిగింది. అయితే ఆ వాయువు ఏమై ఉంటుందో తెలుసుకోలేకపోయాడు.

1756లో జోసెఫ్ బ్లాక్ (1728–1799) అనే మరో బ్రిటిష్ శాస్త్రవేత్త కార్బన్డయాక్సయిడ్ ను పరిశీలించాడు. అది సున్నం (లైమ్) తో కలిసి దాన్ని సున్నపురాయి (లైమ్ స్టోన్) గా మార్చుతోందని తెలుసుకున్నాడు.

అయితే మార్పు జరగడానికి లైమ్ ని కార్బన్డయాక్సయిడ్ తో ప్రత్యేకించి సంపర్కించనక్కర్లేదని తెలుసుకున్నాడు. ఊరికే గాల్లో పెడితే అది క్రమంగా మారుతుంది. అంటే మన చుట్టూ ఉండే గాల్లోనే కార్బన్డయాక్సయిడ్ ఉందన్న మాట. ఎక్కువ లేకపోవచ్చు. కాని ఉండనయితే ఉంది.

1722లో డేనియల్ రూథర్ఫర్డ్ అనే మరో మరో బ్రిటిష్ శాస్త్రవేత్త ఓ మండే కొవ్వొత్తిని ఓ మూసిన పాత్రలో ఉంచాడు. కాసేపు అయ్యాక కొవ్వొత్తి ఆరిపోయింది. మండే కొవ్వొత్తి కార్బన్డయాక్సయిడ్ ను పుట్టిస్తుందని అప్పుడే అందరికీ తెలిసింది. ఈ ప్రయోగం బట్టి చూస్తే చుట్టూ ఉన్న గాలిని కొవ్వొత్తి తీసుకుని దాని స్థానంలో కార్బన్డయాక్సయిడ్ ను భర్తీ చేసినట్టు అనిపించింది.

అయితే కార్బన్డయాక్సయిడ్ కొన్ని రసాయనాలతో కలుస్తోంది. కొవ్వొత్తి మండిన పాత్రలో ఆ రసాయనాలు ఉంచినప్పుడు కార్బన్డయాక్సయిడ్ మాయమయ్యింది. పాత్రలో ఇంకా గాలి అయితే మిగిలి ఉంది గాని అందులో కొవ్వొత్తి మండలేదు.

పాత్రలో మిగిలిన వాయువు కార్బన్డయాక్సయిడ్ కాదని, ఈ వాయువులో కూడా మంట నిలవదని రూథర్ఫర్డ్ నిర్ధారించాడు. తదనంతరం ఆ వాయువుకి నైట్రోజన్ అని పేరు పెట్టారు.

తరువాత 1774లో జోసెఫ్ ప్రీస్ట్లీ అనే బ్రిటిష్ శాస్త్రవేత్త వస్తువులు ఉధృతంగా మండే ఓ వాయువును గాలి నుండి వెలికితీశాడు. మందంగా నిప్పులా రగులుతున్న ఓ వస్తువును ఆ వాయువులో పెడితే అది భగ్గు మంటుంది. ఆ వాయువుకే తదనంతరం ఆక్సిజన్ అని పేరు వచ్చింది.

చివరికి 1775లో ఆంట్వాన్ లారెంట్ లెవోజియే (1743–1794) అనే ఫ్రెంచ్ శాస్త్రవేత్త అంతవరకు వచ్చిన ఫలితాలన్నీ కూర్చి సమస్యని పరిష్కరించాడు. గాలి రెండు వాయువుల మిశ్రమం అని అతడు చాటాడు. గాలిలో 4/5 వంతులు నైట్రోజన్, 1/5 ఆక్సిజన్ ఉంటుంది. గాలిలో వస్తువులు మండడానికి కారణం ఆక్సిజనే. మనుషుల, జంతువుల ఊపిరికి ఊపిరి ఆక్సిజనే. (గాలిలో కొంచెం కార్బన్డయాక్సయిడ్ కూడా ఉంటుంది. అది 1/300 వంతు మాత్రమే.)

లెవోజియే చెప్పిన దాని బట్టి చూస్తే మరి భూమి మీద మనుషుల, జంతువుల శ్వాస వల్ల, మండే మంటల వల్ల ఆక్సిజన్ అంతా హరించుకుపోయి దాని స్థానే కార్బన్డయాక్సయిడ్ ఎందుకు నిండిపోవడం లేదు అన్న ప్రశ్నవస్తుంది? అదే జరిగితే శ్వాస గల జీవాలన్నీ చచ్చిపోతాయి. ఇక ఏదీ మండదు. కాని అలా జరగడంలేదు. గాలిలో బోలెడంత ఆక్సిజన్ ఉంటోంది.

గాలిలో హరించుకుపోతున్న ఆక్సిజన్ ని ఏదో వేగంగా భర్తీ చేస్తోంది. ఇంతకీ ఏంటా శక్తి?

ప్రీస్ట్లీ పరిశోధనల్లో ఆ సమస్యకి సమాధానం యొక్క తొలిసూచనలు కనిపించాయి. 1771లో ప్రీస్ట్లీ ఓ మూసిన పాత్రలో ఓ ఎలుకని ఉంచాడు. కొంతసేపటికి ఆ ఎలుక పాత్రలోని ఆక్సిజన్ అంతటినీ వాడేసి ఇక ఊపిరాడక చచ్చిపోయింది.

అదే పరిస్థితుల్లో మరి మొక్కలు కూడా చచ్చిపోతాయా అని ప్రీస్ట్లీ ప్రయోగం చేశాడు. అదే పాత్రలో ఎలుకని తీసేసి ఓ పొదీనా రెమ్మని ఓ గ్లాసుడు నీళ్లలో పెట్టి ప్రవేశపెట్టాడు.

మొక్క చావలేదు. అదే పాత్రలో కొన్ని నెలల పాటు లక్షణంగా పెరిగింది. అంతే కాదు ఆ కాలం తరువాత ఆ పాత్రలో మరో ఎలుకని ప్రవేశపెడితే అది ఆ పాత్రలో హాయిగా, దర్జాగా బతికింది! ఆ పాత్రలో కొవ్వొత్తి కూడా మండింది.

ప్రీస్ట్లీ కి ఏం జరుగుతోందో అర్థం కాలేదు. ఎందుకంటే అప్పటికి ఇంకా ఆక్సిజన్ ఆవిష్కరణ జరగలేదు. అయితే గాలిలోని అంశాలేమిటో లెవోజియే విడమర్చి చెప్పాక అంతా తేటతెల్లమయ్యింది. గాలిలోని ఆక్సిజన్ ని జంతువులు హరిస్తూ ఉంటే, మొక్కలు దాన్ని తిరిగి ఎలాగో భర్తీ చేస్తున్నాయి. అంటే భూమి మీద వృక్షలోకం ఉన్నంత కాలం ఆక్సిజన్ ఎప్పటికీ

హరించుకుపోదు. ఆ విషయం తెలుసుకున్న నాటి శాస్త్రవేత్తలు ఎంతో సంతోషించారు. కాని వేల ఎకరాల అటవీ సంపదని సాగునేల కోసం, కలప కోసం నాశనం చేస్తున్న ప్రస్తుత పరిస్థితుల్లో నేటి శాస్త్రవేత్తలు ఆ సంతోషంలో పాలుపంచుకోలేకపోతున్నారు.

2. కాంతి – కార్బోహైడ్రేట్లు

ఆక్సిజన్ మన శరీరంలోని పదార్థాలతో కలిసినప్పుడు కార్బన్డయాక్సయిడ్, నీరు తో పాటు శక్తి కూడా పుడుతుంది. ఈ శక్తి లేదా ఎనర్జీ అనే ఇంగ్లీష్ పదం పని చేయగలది అన్న అర్థం గల గ్రీకు పదాల నుండి వచ్చింది. దేహ పదార్థాలకి, ఆక్సిజన్ కి మధ్య సంయోగంలో పుట్టే రసాయన శక్తి మూలంగానే మనకి కదలడానికి, తదితర పనులు చేసుకోడానికి వీలు పడుతోంది.

ప్రీస్ట్లీ కాలంలో శాస్త్రవేత్తలకి ఈ శక్తిని గురించి పెద్దగా తెలియదు. కాని తరువాత కాలంలో శక్తి గురించి చాలా విషయాలు తెలిశాయి. ఆక్సిజన్ కార్బన్, హైడ్రోజన్ పరమాణువులతో కలిసినప్పుడు కార్బన్డయాక్సయిడ్, నీరు మరియు శక్తి పుట్టిన పక్షంలో మరి దానికి వ్యతిరేక దిశలో చర్య జరిగితే ఏం జరుగుతుంది? ఆక్సిజన్ మళ్లీ పుట్టి గాల్లోకి వెలువడుతుందా? శక్తి విషయంలో కూడా అలాగే జరుగుతుందని తరువాత శాస్త్రవేత్తలు తెలుసుకున్నారు. ఆక్సిజన్ ఉత్పన్నంలో మళ్లీ శక్తి వ్యయం జరుగుతుంది. మరి మొక్కలు ఆక్సిజన్ ని సృష్టిస్తున్నాయంటే అందుకు కావలసిన శక్తి ఎక్కణ్నుంచి వస్తోంది?

జాన్ ఇంగెన్ హవుజ్ (1730–1799) అనే డచ్ శాస్త్రవేత్తకి దాని సమాధానం దొరికింది. మొక్కలు ఆక్సిజన్ ని ఉత్పత్తి చేసే పద్ధతిని అతడు పరిశోధిస్తూ పోయాడు. ఆ ఉత్పత్తి కాంతి ఉన్న పరిస్థితుల్లోనే జరుగుతుందని 1779 లో అతడు గమనించాడు. చీకట్లో మొక్కలు ఆక్సిజన్ ని తయారు చెయ్యలేవు.

సూర్యరశ్మిలో శక్తి ఉంటుంది. మొక్కలు ఆ శక్తిని వాడుకుని దాని సహాయంతో జంతువులకి ఆహారంగా పనికొచ్చే సంక్లిష్టమైన పదార్థాలని తయారు చెయ్యగల్గుతున్నాయి. సూర్యకాంతి లోని శక్తిని ఉపయోగించి మొక్కలు ఆక్సిజన్ ని కూడా తయారు చెయ్యగల్గుతున్నాయి.

మూల పదార్థాల నుండి సంక్లిష్ట పదార్థాలని నిర్మించే ప్రక్రియనే సంయోగం (synthesis) అంటారు. ఇది కూర్పు అన్న అర్థంగల గ్రీకు పదం నుండి వచ్చింది. ఈ కూర్పుకి కావలసిన శక్తి సూర్యకిరణాల నుండి వస్తోంది కనుక దాని కిరణజన్యసంయోగక్రియ అని పేరు.

ఈ కిరణజన్యసంయోగక్రియ భూమి మీద జరిగే అతి ముఖ్యమైన రసాయన చర్య. మనుషుల, జంతువుల జీవనానికి కావలసిన ఆహారం, ఆక్సిజన్ ఈ క్రియ నుండే పుడుతున్నాయి.

అయితే నీటి నుండీ హైడ్రోజెన్, ఆక్సిజన్ లు మాత్రమే వస్తాయి కనుక కార్బన్ ఎక్కణ్ణుండి వస్తుంది? అన్న ప్రశ్న ఇంకా మిగిలిపోయింది.

1782లో జాన్ సెనేబ్యే అనే స్విస్ శాస్త్రవేత్త గాలిలోని కార్బన్డయాక్సయిడే ఆ మూలం అయ్యుంటుందని సూచించాడు.

1804లో నికొలాస్ ఎయోడోర్ ద సోసూర్ (1767–1845) అనే మరో స్విస్ శాస్త్రవేత్త మునుపు హెల్మొంట్ చేసిన ప్రయోగాన్ని మళ్లీ చేసి చూశాడు. అయితే ఈ సారి అతడు మొక్కకి నీటితో పాటు జాగ్రత్తగా కార్బన్డయాక్సయిడ్ ని కూడా సరఫరా చేశాడు. ఈ పదార్థంలో ఒక్కొక్కటి ఎంత వరకు వాడబడిందో కొలిచాడు. కార్బన్డయాక్సయిడ్, నీరు కలిసి మొక్క పదార్థం తయారవుతోందని అతడు నిరూపించాడు.

కనుక ఇంత వరకు మనం చూసిన దానికి ఇదీ తాత్పర్యం:–

మొక్కల్లో: కార్బన్డయాక్సయిడ్ + నీరు + సూర్యరశ్మి → ఆహారం + ఆక్సిజన్ (కి.జ.సం.)

జంతువుల్లో: ఆహారం + ఆక్సిజన్ → కార్బన్డయాక్సయిడ్ + నీరు + సూర్యరశ్మి (శ్వాస)

అంటే కి.జ.సం., శ్వాసలు పరస్పర వ్యతిరేక దిశల్లో సాగే ప్రక్రియలు అన్నమాట. ఈ వ్యవహారంలో కాంతి శక్తి రసాయన శక్తిగా మారుతోంది. కాంతి శక్తి హరించుకుపోతోంది గాని, ఆహారం, ఆక్సిజన్ లు కాదు. అయితే కాంతి శక్తి గురించి మనం బెంగ పెట్టుకోనక్కర్లేదు. సూర్యుడు కొన్ని కోట్ల ఏళ్లుగా మనకు కాంతిని ప్రసాదిస్తున్నాడు. మరి కొన్ని కోట్ల ఏళ్ళ పాటు ప్రసాదించగలడు కూడా.

కి.జ.సం. లోను, శ్వాస లోను పాల్గొనే మూల పదార్థాలైన కార్బన్డయాక్సయిడ్, నీరు, ఆక్సిజన్ లు చాలా సరళమైన పదార్థాలు. వాటిలో ఉన్నవి చాలా చిన్న అణువులే. ఆ అణువులు కొన్ని పరమాణువుల సముదాయాలు. ఒక కార్బన్డయాక్సయిడ్ అణువులో ఒక కార్బన్ పరమాణువు, రెండు ఆక్సిజన్ పరమాణువులు ఉంటాయి. ఒక నీటి అణువు లో, రెండు హైడ్రోజెన్ పరమాణువులు, ఒక ఆక్సిజన్ అణువు ఉంటుంది. ఒక ఆక్సిజన్ అణువులో రెండు ఆక్సిజన్ పరమాణువులు ఉంటాయి.

అయితే ఆహారంలోను, జీవరాశుల శరీరాలకి చెందిన పదార్థాలలోను చాలా సంక్లిష్టమైన అణువులు ఉంటాయి.

1815లో విలియం ప్రౌట్ (1785–1850) అనే బ్రిటిష్ శాస్త్రవేత్త ఆహారపదార్థాలని మూడు కోవలుగా విభజించాడు. నేడు మనం ఈ మూడు జాతులని కార్బోహైడ్రేట్లు, కొవ్వు, ప్రోటీన్లు అంటున్నాం. కార్బోహైడ్రేట్లలోను, కొవ్వులోను పెద్ద పెద్ద అణువులు ఉంటాయి. ఈ అణువులలో కార్బన్, హైడ్రోజెన్, మరియు ఆక్సిజన్ పరమాణువులు ఉంటాయి. ప్రోటీన్లు ప్రత్యేకించి చాలా పెద్ద అణువులు. వాటిలో కార్బన్, హైడ్రోజెన్, ఆక్సిజన్ పరమాణువులే కాక, నైట్రోజెన్, సల్ఫర్ పరమాణువులు కూడా ఉంటాయి. అడపాదపా ఇతర రకాల పరమాణువులు కూడా ఉంటాయి.

ఈ మూడు జాతులలోను మొక్కల్లో బాగా విరివిగా దొరికేవి కార్బోహైడ్రేట్లే. మొక్కలన్నిటిలోను సెల్ల్యులోస్ ఉంటుంది. ఇది కలపలో ఉండే ఓ ముఖ్యమైన కాబోహైడ్రేట్. సెల్లులోస్ ధృఢంగా ఉండి మొక్కలకి ఊతగా ఉంటుంది.

మరో సర్వసామాన్యమైన కార్బోహైడ్రేట్ పిండి పదార్థం (starch). ఇది మెత్తగా ఉండి సులభంగా జీర్ణమవుతుంది. మొక్కల్లో ఉండే అతి ముఖ్యమైన జీర్ణ పదార్థం ఇదే.

మొక్కల్లో పుష్కలంగా కార్బోహైడ్రేట్ గాని ఉంటే దాంతో అవి సులభంగా కొవ్వు పదార్థం చేసుకోగలవు. ఆహారం యొక్క కేంద్రీకృత రూపమే కొవ్వు. కార్బోహైడ్రేట్ల నుండి, ఇంకా నీటి నుండి లేదా మట్టి నుండి గ్రహించిన ఖనిజాల (minerals) నుండి మొక్క ప్రోటీన్లు తయారు చేసుకుంటుంది.

మరి మొక్కల్లో అంత కార్బోహైడ్రేట్ ఉంటుంది కనుక, ఈ కర్బోహైడ్రేట్ల నుండి మొక్క కాంతి లేని పరిస్థితుల్లో కూడా కొవ్వును, ప్రోటీన్ ను తయారు చేసుకోగలదు కనుక కి.జ.సం. నుండి కార్బోహైడ్రేట్ పుడుతుందని ఊహించుకోవచ్చు. ఇక తక్కిన వన్నీ కార్బోహైడ్రేట్ల నుండి జంతువుల్లో లాగానే మొక్కల్లో కూడా సామాన్య రసాయన చర్యల ద్వారానే ఉత్పన్నమవుతాయి.

ఈ సత్యాన్ని నిరూపించిన వాడు జూలియస్ వాన్ సాక్స్ (1832–1897) అనే జర్మన్ శాస్త్రవేత్త. 1868లో అతడు మొక్కల గురించి చేసిన మొట్టమొదటి ఆవిష్కరణ ఏమిటంటే, మొక్కలు కూడా జంతువుల లాగానే, చీకట్లో, తమలోని పదార్థాన్ని ఆక్సిజన్ తో కలిపి, కార్బన్డయాక్సయిడ్ ను, నీటిని, రసాయన శక్తిని తయారు చేస్తాయన్న విషయం. అయితే పగటి పూట మాత్రం కి.జ.సం. వల్ల మొక్కకి దాని అవసరాలకి కావలసిన దాని కన్నా చాలా ఎక్కువ ఆహారం, ఆక్సిజన్ ఉత్పన్నం అవుతాయి. అందుకే జంతువులకి తినడానికి, ఊపిరి పీల్చుకోవడానికి కావలసినంత ఎప్పుడూ ఉంటుంది.

అయితే 1872లో సాక్స్ ఒక మొక్కని చీకట్లో మరీ ఎక్కువ సేపు ఉంచి చూశాడు. మొక్కలోని పదార్థం మొత్తం ఆక్సిజన్ తో కలిస్తే ఏం జరుగుతుందో చూడాలని అతడి ఉద్దేశం. చీకట్లో చాలా సమయం ఉన్న మొక్క ఒక కి.జ.సం. ద్వార మరింత ఆహారాన్ని తయారు చేసుకోవడానికి సిద్ధంగా ఉంది. అప్పుడు సాక్స్ మొక్కని ఎండలో పెట్టాడు. అయితే ఆ మొక్కల్లో కొన్ని ఆకుల మీద మాత్రం వెలుగు పడకుండా నల్లని కాగితంతో కప్పాడు.

ఇక్కడ ఒక విషయం మనవి చేసుకోవాలి. పిండి పదార్థాన్ని అయొడిన్ పొగతో కలిపినప్పుడు ఓ నల్లని పదార్థం తయారవుతుంది. ఆకుల మీద కాసేపు ఎండ పడనిచ్చి, సాక్స్ ఆకులకి అంటించిన నల్ల కాగితాలు తీసేసి, ఆ ఆకుల మీద అయొడిన్ పొగలని పోనిచ్చాడు. ఎండలో ఉన్న ఆకు భాగాలు క్షణంలో నల్లగా కమిలిపోయాయి. కి.జ.సం. వల్ల వేగంగా తయారైన పిండి పదార్థంతో ఆ ఆకు భాగాలు నిండి ఉన్నాయి. కాగితంతో కప్పబడ్డ ఆకు భాగాలు నల్లబడలేదు. అక్కడ పిండి పదార్థం లేదన్నమాట.

కి.జ.సం. వల్ల కాబోహైడ్రేట్లు తయారైనా మొదట తయారయ్యింది పిండి పదార్థం కాకపోవచ్చు.

పిండి పాదార్థంలోని అణువులు చాలా పెద్దవని, అవి వందలాది చిన్న అణువుల మాలికలని మామూలుగా భావిస్తారు. అంతే కాక పిండిపదార్థాన్ని ఆ మాలికలలోని విడి భాగాలుగా బద్దలు కొట్టడం కూడా సులభమే.

పిండిపదార్థం అణువులలోని విడిభాగాలే చక్కెరలు (sugars). పిండి పదార్థపు అణుమాలికలలోని ఒక ఏకైక విడిభాగమే అతిసామాన్యమైన చక్కెర జాతి – అదే గ్లూకోస్.

పిండిపదార్థంలో కన్నా పొడవైన అణుమాలికలున్న పదార్థం సెల్యులోస్. ఈ సెల్యులోస్ లో కూడా మూల అణువు గ్లూకోసే. తేడా ఏంటంటే ఇక్కడ గ్లూకోస్ అణువుల మధ్య బంధాలు కొంచెం వేరుగా ఉంటాయి. పిండిపదార్థంలోని బంధాలని సులభంగా తెంచవచ్చు. శరీరంలో ఇది జరిగినప్పుడే పిండిపదార్థం అరిగిపోయింది అంటాము.

సెల్యులోస్ లో అణువుల మధ్య బంధాలు ఇంకా బలంగా ఉంటాయి. వాటిని భేదించడం ఇంకా కష్టం. కొన్ని ప్రత్యేక ఏకకణ జీవులలో మాత్రమే సెల్యులోస్ అరుగుతుంది. (అలాంటి ఏకకణ జీవులు చెదపురుగుల పేగుల్లో బతుకుతుంటాయి. అందుచేతనే చెదలు చెక్క తిని చక్కా బతుకుతాయి!)

జంతువుల్లోను మనుషుల్లోను కూడా కార్బోహైడ్రేట్లు, కొవ్వు, ప్రోటీన్లు – ఈ మూడింటి నుండీ కూడా రసాయన శక్తి ఉత్పన్నం అవుతుంది. ప్రతీ సందర్భంలోను పదార్థాన్ని విచ్ఛిన్నం చేసి గ్లూకోస్ గా మార్చాల్సిన అవసరం ఉంటుంది.

ఆ గ్లూకోస్ రక్త ప్రవాహంలోకి ప్రవేశించి వివిధ దేహాంగాలకి ప్రసారమవుతుంది. రసాయన శక్తికి కావలసిన ఏకైక అతి ముఖ్యమైన పదార్థం గ్లూకోస్.

కనుక కి.జ.సం. లో తయారయ్యేది గ్లూకోసే నని భావించడం సబబుగా అనిపిస్తోంది. మొక్క గ్లూకోస్ అణువులని కలిపి పిండిపదార్థం గాను, ఆ పిండి పదార్థాన్ని అవసరమైతే ఇంకా సెల్యులోస్ గాను మార్చుకోగలదు. లేదా కొవ్వుగా కేంద్రీకరించుకోగలదు. దానికి ఖనిజాలు జోడించి ప్రోటీన్లు తయారు చేసుకోగలదు. గ్లూకోస్ మధ్యతరగతి పరిమాణం గల అణువు. అందులో ఆరు కార్బన్ పరమాణువులు, పన్నెండు హైడ్రోజన్ పరమాణువులు, ఆరు ఆక్సిజన్ పరమాణువులు ఉంటాయి. అంతే కాదు. కి.జ.సం.లో పుట్టే మొట్టమొదటి పదార్థం ఇది కాదు. అదెలాగో చూద్దాం.

3 క్లోరోఫిల్

ఇప్పుడు మరో ప్రశ్న పుడుతుంది. (ఇంకా మరెన్నో ప్రశ్నలు కూడా ఉన్నాయి. శాస్త్రవేత్తలు ఎంతగా తలలు బాదుకుంటే అంతగా కొత్త ప్రశ్నలు తలెత్తుతూ ఉంటాయి. అదే సైన్సులో మజా!)

మొక్కలో కి.జ.సం. జరుగుతుంది గాని జంతువుల్లో ఎందుకు జరగదో? జంతువుల్లో లేని దేదో మొక్కలో ఉండి ఉండాలి.

మొక్కలకి, జంతువులకి రంగులో తేడా ఉంది కదూ? మొక్కలు సామాన్యంగా పచ్చగా ఉంటాయి. లేదా అధిక భాగం పచ్చగా ఉంటాయి. పూర్తిగా పచ్చని జంతువులు చాలా తక్కువ. (పచ్చని రెక్కలున్న పక్షులు ఉంటాయి. కాని ఆ పచ్చదనాన్నిచ్చే రసాయనాలు, ఆకుపచ్చదనంలో ఉన్న రసాయనాలు వేరు.)

మొక్కలు నిజంగా పచ్చగా ఉండాల్సిన అవసరం ఉందా? ఏన్నో విధాలుగా మొక్కల్లా కనిపించే కొన్ని జీవరాశులు ఉన్నాయి. రూపంలో, రసాయనాల కూర్పులో వాటికి మొక్కలకి మధ్య ఎన్నో పోలికలు ఉంటాయి. కాని ఈ మొక్కలు పచ్చగా ఉండవు. వాటికి ఉదాహరణ కుక్కగొడుగులు. అలాంటి పచ్చనివి కాని మొక్కల్లో కి.జ.సం. జరగదు.

పచ్చని మొక్కల్లో కూడా పచ్చని భాగాలలోనే కి.జ.సం. జరుగుతుంది. ఒక చెట్టునే తీసుకుంటే దాని వేళ్లలోను, బెరడులోను, కొమ్మలోను, రెమ్మల్లోను కి.జ.సం. జరగదు. ఒక్క ఆకుల్లోనే జరుగుతుంది.

1817లో పియర్ జోసెఫ్ పెల్ట్యే (1788–1842) మరియు జోసెఫ్ బియనెయిమ్ కవాంతూ (1795–1877) అనబడే ఇద్దరు ఫ్రెంచ్ శాస్త్రవేత్తలు మొక్కల్లోని ఈ పచ్చని పదార్థాన్ని వెలికితీశారు. దానికి క్లోరోఫిల్ అని పేరు పెట్టారు. అది పచ్చటి ఆకు అన్న అర్థం గల గ్రీకు పదాల నుండి వచ్చింది.

అయితే ఈ క్లోరోఫిల్ అణువు చాలా సంక్లిష్టమైనది. ఇంచు మించు మూడు అర్థ శతాబ్దాల కాలం పాటూ శాస్త్రవేత్తలకి దాని గురించి పెద్దగా అర్థం కాలేదు. జంతువుల్లో లేనిది, మొక్కల్లో ఉండేది కి.జ.సం. కి మూల కారకమైనది అయిన పదార్థం ఇదేనని వారికి తెలుసు. అందుకే ఎంతో శ్రమించారు. కాని ఫలితం లేకపోయింది.

చివరికి 1906లో చిక్కుముడి విడసాగింది. రిచర్డ్ విల్స్టాటర్ అనే జర్మన్ శాస్త్రవేత్త పరిశోధనల్లో కొన్ని సంగతులు తెలిశాయి. క్లోరోఫిల్ ని శుద్ధీకరించి, దాన్ని క్షుణ్ణంగా శోధించిన వారిలో ఇతడు ప్రథముడు.

ఇది ఏకైక పదార్థం కాదని చాలా సారూప్యం గల అణువులు ఉన్న రెండు పదార్థాల సముదాయం అని అతడు కనుగొన్నాడు. వాటిలో ఒకదాన్ని క్లోరోఫిల్ a అన్నాడు. మొక్కల్లోని క్లోరోఫిల్ లో మూడొంతులు ఇదే ఉంటుంది. ఇక నాలుగోవంతు పదార్థాన్ని క్లోరోఫిల్ b అన్నాడు.

ఎల్స్టాటర్ ఆ తరువాత క్లోరోఫిల్ లో ఉండే వివిధ రకాల పరమాణువులని పరిశీలించాడు. కార్బన్, హైడ్రోజన్, ఆక్సిజన్, నైట్రోజన్ పరమాణువులు ఉన్నాయని గమనించాడు. ఇందులో పెద్ద ఆశ్చర్యం లేదు. ఎందుకంటే మొక్కల్లో ఇంచుమించు ప్రతీ భాగంలోను కార్బన్, హైడ్రోజన్, ఆక్సిజన్ లు ఉంటాయి. చాలా చోట్ల నైట్రోజన్ పరమాణువులు కూడా ఉంటాయి.

అయితే మెగ్నీషియం అనే మూలకం యొక్క పరమాణువులు కూడా ఉన్నట్టు తెలిసింది. ఇది ఆశ్చర్యమే! జీవరాశుల్లోని పదార్థాల్లో మెగ్నీషియం ఉన్నట్టుగా తేలిన మొట్టమొదటి పదార్థం క్లోరోఫిల్.

క్లోరోఫిల్ అణువులు 55 కార్బన్ పరమాణువులు, 72 హైడ్రోజన్ పరమాణువులు, 5 ఆక్సిజన్ పరమాణువులు, 1 మెగ్నీషియం పరమాణువు ఉన్నాయని నిరూపించాడు విల్స్టాటర్. క్లోరోఫిల్ b లో కూడా ఇంచు మించు అన్నే పరమాణువులు ఉన్నాయి గాని అందులో 71 హైడ్రోజన్, 6 ఆక్సిజన్ పరమాణువులు మాత్రమే ఉన్నాయి.

అయితే విల్‌స్టాటర్ ఆ పరమాణువుల విన్యాసం ఎలా ఉంటుందో కచ్చితంగా తెలుసుకోలేకపోయాడు. అయితే ఆ అణువులో కొన్ని చిన్న వలయాలు ఉంటాయని, ఒక్కో వలయంలో 6 కార్బన్ పరమాణువులు, ఒక నైట్రోజన్ పరమాణువు ఉన్నాయని మాత్రం తెలుసుకున్నాడు. అలాంటి వలయాన్ని పైరోల్ వలయం అంటారు. తన కృషికి 1915లో కెమిస్ట్రీలో నోబెల్ బహుమతిని అందుకున్నాడు విల్‌స్టాటర్.

విల్‌స్టాటర్ కృషిని హన్స్ ఫిషర్ (1881–1945) అనే జర్మన్ శాస్త్రవేత్త కొనసాగించాడు. నాలుగు పైరోల్ వలయాలని ఇంకా పెద్ద పార్ఫిరిన్ వలయంలో అమర్చవచ్చని నిరూపించాడు. పార్ఫిరిన్ వలయం నడిమధ్యలో ఓ ఇనుము పరమాణువుని ఉంచి, వలయపు టంచులకి మరి కొన్ని పరమాణు మాలికలను తగిలిస్తే హీమ్ అనబడే ఓ పదార్థం యొక్క విన్యాసం వస్తుందని సూచించాడు. నెత్తుటికి ఎర్ర దనాన్ని ఆపాదించే పదార్థమే ఈ హీమ్. ఈ అవిష్కారాన్ని అతడు 1930లో చేశాడు. అదే సంవత్సరం అతడికి కెమిస్ట్రీలో నోబిల్ బహుమతి వచ్చింది.

తరువాత క్లోరోఫిల్ కి, హీమ్ కి మధ్య పోలికలు ఉన్నాయని తెలిసింది. క్లోరోఫిల్ లోని పార్ఫిరిన్ వలయం యొక్క కేంద్రంలో, ఇనుము బదులు మెగ్నీషియం ఉంది. అంతే కాక క్లోరోఫిల్ లో వలయం అంచుకు తగిలించి ఉన్న పరమాణువులకి, హీమ్ లో అదే చోట ఉండే పరమాణువులకి మధ్య తేడా ఉంది. క్లోరోఫిల్ లో ఉండేవి మరింత సంక్లిష్టమైనవి. ఈ వివరాలన్నీ విపులంగా తేల్చిచూపించాడు ఫిషర్.

అయితే 1960లో రాబర్ట్ బర్న్స్ వుడ్వర్డ్ (1917–1979) అనే అమెరికన్ శాస్త్రవేత్త కృషి వల్ల చిట్టచివరి నిదర్శనం దొరికింది. ఫిషర్ ఊహించిన విధంగా ఆయా పరమాణువులని, ఆయా విన్యాసంలో కృత్రిమంగా కూర్చాడు వుడ్వర్డ్. అలా కూర్చగా తయారైన పదార్థం అచ్చం పచ్చని మొక్కల నుండి వచ్చిన క్లోరోఫిల్ లాగానే కనిపించింది, పనిచేసింది కూడా.

అంటే ఫిషర్ ఊహించిన అణు విన్యాసం అక్షరాలా నిజం అన్నమాట. ఈ కృషికి 1965లో విడ్వర్డ్ కి కెమిస్ట్రీ నోబెల్ బహుమతి ఇచ్చారు.
పచ్చని మొక్కల నుండీ క్లోరోఫిల్ ని వెలికి తీయగలిగారు కనుక ఇక శాస్త్రవేత్తలు ఆ పదార్థాన్ని ఉపయోగించి కృత్రిమంగా కి.జ.సం.ని సాధించగలరని అనుకుంటున్నారేమో! ఉదాహరణకి క్లోరోఫిల్ ని నీట్లో కలిపి అందులో కార్బన్డయాక్సయిడ్ వాయు బుడగలని ప్రవేశపెట్టారని అనుకుందాం. క్లోరోఫిల్ సమక్షంలో కార్బన్డయాక్సయిడ్ నీటితో కలిసినప్పుడు, గ్లూకోస్, పిండిపదార్థం తయారవ్వాలిగా మరి?

న్యాయంగా అయితే తయారవ్వాలేమో గాని అవ్వదు. మొక్కలో ఉండగా క్లోరోఫిల్ చక్కగా పనిచేస్తుంది గాని మొక్కలోంచి వెలికి తీస్తే కిక్కురు మనదు!

ఎందుకలా? ఎందుకంటే మొక్కలో క్లోరోఫిల్ ఓ సంక్లిష్టమైన జీవరసాయన వ్యవస్థలో ఓ భాగం మాత్రమే. ఈ ఫలితాలన్నీ సాధించేది ఆ వ్యవస్థే. ఒంటరి క్లోరోఫిల్ కాదు.

మొక్కలే కాక, జంతువులు కూడా పూర్తిగా కణాల చేత నిర్మించబడి ఉంటాయి. ఈ కణాల సగటు పరిమాణం 1/750 ఇంచి ఉంటుంది. కొన్ని అతి సూక్ష్మమైన జంతువులలోను, మొక్కల్లోను కూడా ఒకే కణం ఉంటుంది. వీటిని మైక్రోస్కోప్ లో మాత్రమే చూడగలం. పెద్ద పెద్ద మొక్కల్లోను జంతువుల్లోను కూడా ఇంత చిన్న కణాలే గాని అలాంటివి కోకొల్లలు ఉంటాయి. మనిషిలో 50 ట్రిలియన్ కణాలు (50,000,000,000,000) ఉంటాయి.

కణం ఎంత చిన్నదైనా అది అంతరంగ విన్యాసం లేని జీవపదార్థపు ముద్ద కాదు. కణంలో కణాంగాలు (organelles) అని ఇంకా చిన్న అంతర్విభాగాలు ఉంటాయి. ఉదాహరణకి ఒక్కొక్క కణంలో ఒక న్యూక్లియస్ ఉంటుంది. అందులో క్రోమోజోమ్లు అనబడే చిన్న చిన్న అంశాలు ఉంటాయి. కణం రెండుగా విడిపోయే ప్రక్రియని ఈ క్రోమోజోమ్లు నిర్దేశిస్తాయి. అలా విభజించబడ్డ కణం నుండి ఏఏ లక్షణాలు దాని నుండి పుట్టిన శిశు కణాలకి సంక్రమిస్తాయో, అదే విధంగా తల్లిదండ్రుల నుండి బిడ్డలకి ఏఏ లక్షణాలు వారసత్వంగా వస్తాయో కూడా ఈ క్రోమోసోమ్లే నిర్దేశిస్తాయి.

1898లో కార్స్ బెండా అనే జర్మన్ శాస్త్రవేత్త కణంలో న్యూక్లియస్ బయట మైటోకాండ్రియా అనే చిన్న చిన్న వస్తువులు ఉన్నాయని కనుక్కున్నాడు. (దీనికి ఏకవచనాన్ని మైటోకాండ్రియాన్ అంటారు.)

శ్వాసకి కారణం ఈ మైటోకాండ్రియాలే నని క్రమేపీ అర్థం అయ్యింది. ఆక్సిజన్ ని, గ్లూకోస్ ని కలిపి రసాయన శక్తిగా మార్చగలిగే ప్రతీ కణంలోను మైటాకాండ్రియా ఉంటాయి. ఆ కలయిక మైటాకాండ్రియా లోనే జరుగుతుంది.

ఓ సగటు మైటోకాండ్రియా అతి సూక్ష్మమైన అమెరికన్ ఫుట్ బాల్ లా ఉంటుంది. దాని పొడవు 1/1000 ఇంచి, వెడల్పు 1/25,000 ఇంచి ఉంటూంది. ఒక కణంలో వందల నుండి వేల వరకు ఈ వస్తువులు ఉంటాయి. 1930లలో శాస్త్రవేత్తలు ఎలక్ట్రాన్ మైక్రోస్కోప్ ని కనుక్కున్నారు. మామూలు మైక్రోస్కోప్ లో కనిపించని అతి చిన్న వస్తువులు కూడా ఈ ఎలక్ట్రాన్ మైక్రోస్కోప్ లలో కనిపిస్తాయి. అప్పుడు తెలిసింది. మైటాకాండ్రియాలో కూడా సంక్లిష్టమైన అంతరంగ విన్యాసం ఉందని. అందులో ఎంజైమ్లు అనబడే ప్రత్యేకమైన ప్రోటీన్లు తీరుగా అమర్చబడి ఉన్నాయి. ఒక్కో ఎంజైమ్ ఒక ప్రత్యేకమైన రసాయన చర్య ముందుకి

సాగడానికి దోహదం చేస్తుంది. అవన్నీ కలిసి పని చేస్తూ వరుసక్రమంలో ఎన్నో చర్యలు క్రమబద్ధంగా జరిగేట్టు చూస్తాయి. ఆ చర్యలకి పరాకాష్టగా గ్లూకోస్, ఆక్సిజన్ల కలయిక చేత రసాయన శక్తి పుడుతుంది.

మరి వృక్ష కణంలోను జంతు కణంలోను కూడా శ్వాసకి కారణభూతంగా ఉండే కణాంగాలు, అంటే మైటొకాండ్రియా ఉన్నప్పుడు, అదే విధంగా కేవలం మొక్కల్లో మాత్రమే కి.జ.సం. క్రియకి ఆధారభూతంగా ఉండే కణాంగాలు ఏమైనా ఉన్నాయా?

తప్పకుండా ఉన్నాయి! కి.జ.సం. నుండి పిండిపదార్థం పుడుతుంది అని కనుక్కున్న జూలియస్ వాన్ సాక్స్, 1883లో ఓ ముఖ్యమైన విషయాన్ని కనుక్కున్నాడు. వృక్షకణంలో క్లోరోఫిల్ కణం అంతా వ్యాపించి ఉండదు. కణంలో ఉండే కొన్ని ప్రత్యేక కణాంగాలలో మాత్రమే ఉంటుంది. ఆ కణాంగాలనే క్లోరోప్లాస్ట్ లు అంటారు.

ఈ క్లోరోప్లాస్ట్ మైటొకాండ్రియాన్ కన్నా 2,3 రెట్లు పెద్దదిగా ఉంటుంది. దీని అంతరంగ విన్యాసం మైటొకాండ్రియాన్ కన్నా చాలా సంక్లిష్టంగా ఉంటుంది. ఎలక్ట్రాన్ మైక్రోస్కోప్ లో చూస్తే ఈ క్లోరోప్లాస్ట్ లో కూడా చిన్న చిన్న విభాగాలు ఉంటాయని, ఒక్కో విభాగంలోను 250–300 క్లోరోఫిల్ ఉంటాయని తెలిసింది. వివిధ చర్యలకి ప్రోద్బలాన్నిచ్చే ఎన్నో ఎంజైములు కూడా ఉన్నాయి.

అందుచేత ఒక్క, ఒంటరి క్లోరోఫిల్ అణువు చేత కి.జ.సం. సాధ్యపడదు. అది వ్యవస్థలో ఒక భాగంగా పనిచెయ్యాలి. ఎంజైమ్ల అవసరం కూడా ఎంతో ఉంది.

కణాన్ని విచ్ఛిన్నం చేసి అందులో చెక్కుచెదరకుండా ఉండే మైటొకాండ్రియాని సునాయాసంగా వెలికితీయవచ్చు. కాని క్లోరోప్లాస్ట్ లు ఇంకా పెద్దవి కనుక, సంక్లిష్టమైనవి కనుక, మరి కాస్త పెళుసుగా ఉంటాయి. అందుకే వృక్షకణం విచ్ఛిన్నం అయితే క్లోరోప్లాస్ట్ లు కూడా పగిలిపోతాయి. పగిలిన ముక్కల వలన కి.జ.సం. జరగదు.

1954లో డేనియల్ ఐ. ఆర్నన్ (1910–) అనే పోలిష్ అమెరికన్ శాస్త్రవేత్త వృక్ష కణాన్ని ఎంతో సున్నితంగా పగలగొట్టి అందులోంచి చెక్కుచెదరని క్లోరోప్లాస్ట్ ని బయటికి తీయగలిగాడు. ఈ క్లోరోప్లాస్ట్ లు కి.జ.సం. చెయ్యగలుగుతాయి.

4. మధ్యంతర పదార్థాలు

అసలు మైటోకాండ్రియా, క్లోరోప్లాస్టు అంత సంక్లిష్టంగా ఎందుకుండాలి? మైటోకాండ్రియా ఊరికే అలా గ్లూకోస్ ని, ఆక్సిజన్ ని కలిపి కార్బండయాక్సయిడ్ ని, నీటిని ఎందుకు తయారుచెయ్యలేదు? అదే విధంగా క్లోరోప్లాస్టు కార్బండయాక్సయిడ్ ని, నీటిని కలిపి ఆక్సిజన్ ని, గ్లూకోస్ ని ఎందుకు తయారుచెయ్యలేదు? పని అంత సులభంగా జరిగిపోతే జీవితం హాయిగా ఉండేది కదా?

ఇక్కడ ఒక్క విషయం గుర్తుంచుకోవాలి. గ్లూకోస్ ని ఒక్క సారిగా ఆక్సిజన్ తో కలిపితే ఒక్క ఉదుటన అత్యధిక శక్తి ఉత్పన్నం అవుతుంది. అంత శక్తిని కణాలు తట్టుకోలేవు. అదే విధంగా కార్బండయాక్సయిడ్ ని నీటిని కూడా ఒకే సారి కలిపితే ఒక్క సారిగా చాలా శక్తి అవసరమవుతుంది. అంత శక్తిని కణాలు సరఫరా చెయ్యలేవు.

అలా కాకుండా రెండు సందర్భాలలోనూ చర్య అంచెలంచెలుగా జరుగుతుంది. ఒక చిన్న చర్య, అది జరిగాక మరో చిన్న చర్య, ఇలా చిన్న చిన్న అడుగులలో చర్య జరుగుతుంది. శక్తి కూడా కొద్ది కొద్దిగా ఉత్పన్నం అవుతుంటుంది, లేదా కొద్ది కొద్దిగా వ్యయం అవుతుంటుంది. చర్య ఏ దిశలో జరిగినా చిన్న చిన్న అడుగులలో జరుగుతుంటుంది కనుక కణాలు తట్టుకోగలుగుతాయి.

అంటే ఈ చిట్టి చిట్టి చర్యలన్నిటినీ కుదురుగా నియంత్రించాలి అన్నమాట. ఏ చర్య అయినా కూడా మరీ వేగంగా సాగకూడదు, అలాగని మరీ మందంగా కూడా నడవకూడదు. అయితే ప్రతీ చర్యని దానికి సంబంధించిన ఎంజైమ్ నియంత్రిస్తూ ఉండాలి. అలా జరగాలంటే మైటాకాండ్రియా, క్లోరోప్లాస్ట్ ల అంతరంగ విన్యాసం తీరుగా నిర్వహింపబడాలి.

ఈ చిన్న చిన్న చర్యలు వరుసక్రమంలో జరిగినప్పుడు గ్లూకోస్ ఒక కొసలో, కార్బండాయాక్సయిడ్, నీరు మరో కొసలో ఉండగా మార్గమధ్యంలో ఎన్నో మధ్యగత అణువులు తయారవుతాయి. ఈ అణువులనే మధ్యంతర పదార్థాలు అంటారు. ఇవి చిన్న చిన్న మోతాదుల్లోనే ఉత్పన్నం అవుతాయి. అవి ఒక మెట్టులో ఉత్పన్నమై, తదుపరి మెట్టులో ఇంచుమించు పూర్తిగా హరించబడతాయి.

1905లో ఆర్థర్ హార్డెన్ (1865–1905) అనే బ్రిటిష్ శాస్త్రవేత్త కణాలలో గ్లూకోస్ ఆల్కహాల్ గాను, కార్బండయాక్సయిడ్ గాను, ఎలా విచ్ఛిన్నం అవుతుందో పరిశోధించ సాగాడు. ఈ చర్యలో ఆక్సిజన్ ప్రమేయం లేదు. ఇది శ్వాస కన్నా సరళమైన చర్య. కాని శ్వాసకి చాలా సన్నిహితమైన చర్య. ఇది చిన్న చిన్న అడుగులలో జరుగుతుంది.

గ్లూకోస్ విచ్ఛిన్నం అవుతోంది అన్నదానికి నిదర్శనం కణాలు తేలుతున్న జలం లోంచి కార్బండయాక్సయిడ్ బుడగలు బుడబుడమని పైకి రావడం. కాసేపయ్యాక ఆ బుడబుడ శబ్దం ఆగిపోతుంది. కణాలు ఇంకా సజీవంగానే ఉన్నాయి. బోలెడంత గ్లూకోస్ కూడా మిగిలి ఉంది. మరి బుడగలు ఎందుకు ఆగిపోయాయి?

గ్లూకోస్ విచ్ఛిన్నం కావడానికి అవసరమైనదేదో హరించుకు పోయుంటుందని ఊహించాడు హార్డెన్. ఆ మిశ్రమానికి వివిధ పదార్థాలు కలుపుతూ ఏం జరుగుతుందో పరిశీలిస్తూ వచ్చాడు. అలా ప్రయత్నిస్తూ పోతుండగా ఫాస్ఫేట్ అనే ఓ పదార్థాన్ని కలిపినప్పుడు బుడగలు మళ్లీ ప్రారంభం కావడం చూసి ఆశ్చర్యపోయాడు. ఫాస్ఫేట్ లలో ఫాస్ఫరస్ అనే మూలకానికి చెందిన పరమాణువులు ఉంటాయి. అంతవరకు ఫాస్ఫరస్ కి గ్లూకోస్ విచ్ఛిన్నం కావడానికి మధ్య సంబంధం ఉందని ఎవరూ అనుకోలేదు.

గ్లూకోస్ మిశ్రమంలో ఫాస్ఫరస్ పరమాణువులు గల పదార్థం ఏదైనా ఉందేమో పరిశీలించాడు హార్డెన్. ఆ చర్యలో గ్లూకోస్ దానికి చాలా దగ్గర సంబంధం గల ఫ్రక్టోస్ అనే మరో చక్కెరగా మారిందని కనుక్కున్నాడు హార్డెన్. ఫ్రక్టోస్ అణువులకి రెండు ఫాస్ఫేట్ బృందాలు జతచెయ్యబడ్డాయి. అలా తయారైన సంయోగాన్నే ఫ్రక్టోస్ డైఫాస్ఫేట్ అంటారు. గ్లూకోస్ విచ్ఛిన్నం అయినప్పుడు పుట్టే మొట్టమొదటి మధ్యంతర పదార్థం అదే.

ఆ ఆవిష్కరణ చేసినందుకుగాను 1929లో హార్డెన్ కి కెమిస్ట్రీలో నోబెల్ బహుమతి ఇవ్వబడింది.

తదనంతరం ఎన్నో ముఖ్యమైన మధ్యంతర పదార్థాలు కనుక్కోవడం జరిగింది. మెల్లమెల్లగా గ్లూకోస్ ఆక్సిజన్ ల తో మొదలు పెట్టి కార్బండయాక్సయిడ్, నీరు దాకా సాగే బారైన మెట్ల వరుసలో ఒక్కో మెట్టునే పరిశోధించి విశదపరుస్తూ వచ్చారు. ఎన్నో మధ్యంతర పదార్థాలకి ఫాస్ఫేట్ బృందాలు తగిలించి ఉండడం గమనించారు. ఒక అణువు నుండీ మరో అణువుకి వీలుగా చిన్న చిన్న మోతాదుల్లో శక్తిని చేరవేయడానికి ఈ ఫాస్ఫేట్ బృందాలు చాలా ఉపయోగకరంగా ఉన్నాయని తెలుసుకున్నారు.

గ్లూకోస్ ని ఫాస్ఫేట్ మధ్యంతర పదార్థాలు లేకుండా విచ్ఛిన్నం చేయడం వేయి రూపాయల నోటు దొరకడం లాంటిది. అది పెద్ద మొత్తమే కాని ఎన్నో దైనిక సందర్భాలలో నిరుపయోగం కావచ్చు. దాంతో ఒక చాక్లెట్టు కొనుక్కోవాలన్నా, సిటీ బస్సు ఎక్కాలన్నా, కిరాణా కొట్లో పచ్చార్లు కొనుక్కోవాలన్నా అవతలి వారి వద్ద చిల్లర ఉండే ఆస్కారం తక్కువ కనుక పని జరగదు.

అలా కాకుండా ఆ వేయి రూపాయల నోటుని బాంకుకి వెళ్ళి వందలు, యాభైలు, పదులు, ఐదులు ఇలా చిల్లరగా మార్చుకుని వస్తే దాంతో ఎన్నో చేసుకోవచ్చు. అలాంటి చిల్లర ఉంటే ఎన్నో చోట్ల పని జరుగుతుంది.

మధ్యంతర పదార్థాల మూలంగా కణాలకి చిన్న చిన్న మోతాదుల్లో శక్తి అందుతుంది. ఆ శక్తిని శరీరం సులభంగా వాడుకోగలదు. వీటిలో అడెనొసీన్ ట్రైఫాస్ఫేట్ (ఏటీపీ) అనబడే ఫాస్ఫేట్ ముఖ్యంగా చాలా ఉపయోగకరమైనది. శరీరంలో శక్తి అవసరమైన ప్రతీ సందర్భంలోను ఇంచుమించు ఈ ఏటీపీ యే వాడబడుతుంది.

కి.జ.సం. లోని మెట్ల కన్నా శ్వాస లోని మెట్లని విశదీకరించడం సులభమయ్యింది. శ్వాస అంచెలంచెలుగా సాగేట్టు చెయ్యడం సులభం. కనుక దాన్ని విపులంగా, వివరంగా, చిన్న చిన్న మెట్లలో పరిశోధించవచ్చు. తరువాత పెద్ద సమస్యలోని చిరు సమస్యలన్నిటినీ కలిపి ఒక్కసారి చూడొచ్చు. అలా కాకుండా కి.జ.సం. చాలా సంక్లిష్టమైనది. అది చెక్కుచెదరని క్లోరోప్లాస్టు ఉన్నప్పుడే జరుగుతుంది. కనుక అందులోని మెట్లని విశదీకరించడం కష్టం.

మరో చిక్కు ఏమిటంటే శాస్త్రవేత్తలు ఈ అంశంలో తప్పుడు దారిలో పడ్డారు.

కొంత వరకు వాదన సబబుగానే సాగింది. ఆక్సిజన్ ని ఉచ్ఛ్వసించి, కార్బండయాక్సయిడ్ ని నిశ్వసించినప్పుడు ఆ ఆక్సిజన్ శరీరంలోని కార్బన్ తో కలిసి కార్బండయాక్సయిడ్ గా మారాల్సిందే. అందులో సందేహం లేదు. అలాగే ఆ ఆక్సిజన్ శరీరంలోని హైడ్రోజన్ తో కలిసి నీరుగా మారుతుంది. ఇదీ నిజమే. కాని శాస్త్రవేత్తలు ఎందుకో నీటికి ఎక్కువ ప్రాధాన్యత ఇవ్వలేదు. జీవరాశుల బరువులో ఇంచుమించు 2/3 వంతు నీరే ఉంటుంది. శ్వాసలో నీరు (ఆవిరి) కాస్త అటు ఇటుగా ఉన్నా తేడా ఏముందిలే అనుకున్నారు.

కనుక అందరూ కార్బండయాక్సయిడ్ కే ప్రాధాన్యత ఇస్తూ వచ్చారు. శ్వాసలో మరి ఆక్సిజన్, కార్బన్ లు కలిసి కార్బండయాక్సయిడ్ తయారవుతోంది కనుక, కి.జ.సం.లో ఇందుకు వ్యతిరేకంగా చర్య జరగాలి. కి.జ.సం.లో కార్బండయాక్సయిడ్ ఒక కార్బన్ పరమాణువుగాను, రెండు ఆక్సిజన్ పరమాణువులు గాను విడిపోవాలి. రెండు ఆక్సిజన్ పరమాణువులు కలిసి ఒక ఆక్సిజన్ అణువుగా మారాలి. ఆ ఆక్సిజన్ అణువులు గాల్లోకి వెలువడాలి. ఆరు కార్బన్ అణువులు నీటితో కలిసి గ్లూకోస్ తయారవ్వాలి.

1937 దాకా కూడా శాస్త్రవేత్తలంతా ఇంచుమించు ఇలాగే భావిస్తూ వచ్చారు.

కాని ఆ ఏడాది బ్రిటిష్ శాస్త్రవేత్త రాబర్ట్ హిల్ చెట్ల ఆకుల నుండి క్లోరోప్లాస్ట్ లని వెలికితీశాడు. కాని ఆ ప్రయత్నంలో క్లోరోప్లాస్టు చితికిపోయి కి.జ.సం. జరగలేదు.

క్లోరోప్లాస్ట్లలో ఏదో లోపించి ఉంటుంది కనుక ఆ లోపాన్ని భర్తీ చెయ్యడానికి రకరకాల పదార్థాలు కలుపుతూ వచ్చాడు. ఇనుము ఉన్న కొన్ని ప్రత్యేక అణువులు శ్వాసలో చాలా ముఖ్యమైన పాత్ర ధరిస్తాయి. కనుక కి.జ.సం. లో కూడా అవి ముఖ్యం అని అనుకున్నాడు హిల్. కనుక ఇనుము గల చిన్న చిన్న అణువులని తన క్లోరోప్లాస్ట్ మిశ్రమానికి కలిపి చూశాడు.

అలా చెయ్యగానే క్లోరోప్లాస్ట్లు అచ్చం కి.జ.సం. జరుగుతున్నట్టుగానే ఆక్సిజన్ తయారు చెయ్యడం మొదలెట్టాయి. అలా పుట్టిన ఆక్సిజన్ విచ్ఛిన్నం అయిన కార్బండయాక్సయిడ్ అణువుల నుండి వచ్చి ఉన్నట్లయితే ఆ మిగిలిన కార్బన్ నీటితో కలిసి గ్లూకోస్ గాను, ఆ తరువాత పిండి పదార్థంగాను మారి ఉండాలి. కాని అలాంటిదేం జరగలేదు. గ్లూకోస్ గాని, పిండి పదార్థం గాని పుట్టలేదు. ఒక్క ఆక్సిజన్ మాత్రమే పుట్టింది.

అంటే ఆ ఆక్సిజన్ కార్బండయాక్సయిడ్ యొక్క విచ్ఛిన్నం మూలంగా కాక నీటి అణువుల విచ్ఛిన్నం కారణంగా పుట్టిందని అర్థం చేసుకోవాలి. మరి నీటి అణువులు విచ్ఛిన్నం అయినట్లయితే, ఇంకేమీ జరక్క పోతే, గ్లూకోస్, మరియు పిండి పదార్థం తయారు కావడానికి ఇక కార్బన్ పరమాణువులే ఉండవు.

మరి అసలు ఏ అణువుల నుండి ఆక్సిజన్ వస్తోందో కనుక్కోవడం ఎలా? ఎక్కణ్ణుంచి వచ్చినా ఆక్సిజన్ ఆక్సిజనే. అది ఏ అణువు నుండి వచ్చిందో దాని ముఖం చూసి చెప్పగలమా?!!

ముఖం చూసి చెప్పలేకపోయినా ఇంచుమించు అలాంటిది చెయ్యడానికే ఓ పన్నాగం ఉంది. ఒక మూలకం యొక్క పరమాణువులు అన్నీ ఒకే తీరులో ఉండవని 1912 నాటికే తెలిసిపోయింది. రసాయనికంగా ఒకే విధంగా ప్రవర్తించినా వాటి భారాల్లో తేడాలు ఉంటాయి. ఉదాహరణకి 1929లో విలియం ఫ్రాన్సిస్ జీయోక్ (1895–1982) అనే అమెరికన్ శాస్త్రవేత్త అధిక శాతం ఆక్సిజన్ పరమాణువులు ఒకే జాతికి చెందినవని కనుక్కున్నాడు. అదే ఆక్సిజన్–16 అనే జాతి. కాని మరి కాస్త బరువైన ఆక్సిజన్ పరమాణువులు కూడా ఉన్నాయి. అవే ఆక్సిజన్–18.

కాలక్రమేణా ఈ రెండు ఆక్సిజన్ జాతులని ఎలా వేరు చెయ్యాలో తెలుసుకున్నారు శాస్త్రవేత్తలు. బోలెడంత ఆక్సిజన్–18 అణువులు కలిసిన నీటిని తయారు చెయ్యడం నేర్చుకున్నారు.

1941లో మార్టిన్ డేవిడ్ కామెన్ (1913–) అనబడే ఓ కెనేడియన్–అమెరికన్ శాస్త్రవేత్త కి.జ.సం. జరుపుతున్న మొక్కలకి హెచ్చు స్థాయిలో ఆక్సిజన్–18 కలిసిన నీరు పోశాడు. ఈ మొక్కలకి అధిక శాతం ఆక్సిజన్–16 గల, ఆక్సిజన్–18 ఇంచుమించుగా లేని, మామూలు కార్బండయాక్సయిడ్ తో సంపర్కింపజేశాడు.

కామెన్ ఆ తరువాత అలాంటి మొక్కల నుండి పుట్టిన ఆక్సిజన్ ని పరిశీలించాడు. ఆ ఆక్సిజన్ అంతా ఆక్సిజన్–16 మాత్రమే అయ్యుంటే అది కార్బండయాక్సయిడ్ నుండే వచ్చి ఉండాలి. అలా కాకుండా హెచ్చు మోతాదులో ఆక్సిజన్–18 ఉన్నట్లయితే అది నీటి నుండే వచ్చి ఉండాలి.

అలా పుట్టిన ఆక్సిజన్ లో ఎక్కువగా ఆక్సిజన్–18 మాత్రమే ఉన్నట్టు తేలింది. అంటే అది నీటి నుండి వచ్చింది అన్నమాట.

దాంతో విషయం తేటతెల్లంగా తేలిపోయింది. కి.జ.సం.లో ఏం జరుగుతోందంటే మొక్క కాంతి శక్తి ని వాడుకుని నీటిని హైడ్రోజన్, ఆక్సిజన్ పరమాణువులుగా బద్దలు కొడుతోంది. అప్పుడు, క్లోరోప్లాస్టు చెక్కుచెదరకుండా ఉంటే, అందులో ఉండాల్సిన ఎంజైమ్ లు అన్నీ ఉంటే, హైడ్రోజన్ కార్బండయాక్సయిడ్ తో కలిసి గ్లూకోస్, పిండిపదార్థం తయారు కావడం, మిగిలిన ఆక్సిజన్ గాల్లో కలిసిపోవడం జరుగుతుంది.

నీటి అణువు విచ్ఛిన్నం అయిన తరువాత ఏం జరుగుతుందో శాస్త్రవేత్తలకి ఇంకా బాగా అర్థం కాలేదు. ఫాస్ఫేట్లు ఉన్న అణువుల పాత్ర ఉందని వాళ్లకి నిశ్చయంగా తెలుసు. కాని ఇంతకీ ఆ అణువులు ఏమిటో తెలుసుకోవడం ఎలా?

ఆక్సిజన్–18 తో చిక్కు ఏంటంటే దాన్ని వేరు చేసి గుర్తుపట్టడానికి చాలా సమయం పడుతుంది. మరి కి.జ.సం.లో పుట్టే మధ్యంతర పదార్థాలు ఇట్టే తయారై ఇట్టే మాయం అయిపోతాయి. అంతే కాక తగినంత ఆక్సిజన్–18 ని వెలికితీయాలంటే మధ్యంతర పదార్థాలు చాలా హెచ్చు మోతాదుల్లో ఉండాలి. కాని మధ్యంతర పదార్థాలు అతి సూక్ష్మమైన మోతాదుల్లోనే ఉత్పన్నం అవుతాయి. అంటే అతి సూక్ష్మమైన మోతాదుల్లో దొరికే పదార్థాన్ని వేగంగా గుర్తుపట్టగలిగే పద్ధతులు మనకిప్పుడు కావాలి.

1934లో ఫ్రెడెరిక్ జోల్యో క్యూరీ (1900–1958), మరియు అతడి శ్రీమతి ఐరీన్ (1897–1956) దంపతులు కలిసి రేడియోధార్మిక లక్షణం గల పరమాణువులని తయారుచెయ్యడం ఎలాగో కనుక్కున్నారు. ఇలాంటి పరమాణువులు బద్దలై ఇతర పరమాణువులని, కిరణాలని వెలువరిస్తాయి. ఈ కిరణాలని గుర్తుపట్టడం చాలా సులభం. కనుకనే రేడియోధార్మిక పరమాణువులని అతి సూక్ష్మమైన మోతాదుల్లో కూడా గుర్తించడం సులభం. ఈ కృషికి గుర్తింపుగా 1935లో జోల్యో క్యూరీ దంపతులకి కెమిస్ట్రీ నోబెల్ పురస్కారం లభించింది.

ఆక్సిజన్, హైడ్రోజన్ పరమాణువులకి కూడా రేడియోధార్మిక రూపాంతరాలు ఉన్నాయి. కాని అవి నిముషాలలో విచ్ఛిన్నమై మాయం అయిపోతాయి. కనుక వాటిని వాడుకుని చేసే ఏ ప్రయోగాన్నయినా తొందరగా చేసి పూర్తి చేసేయాలి. అలాగే కార్బన్‌కి కూడా కార్బన్–11 అనే

రేడియోధార్మిక రూపాంతరం ఉంది. అది కూడా తొందరగా విచ్ఛిన్నం అయిపోతుంది. కనుక దీన్ని కూడా వాడడం కష్టం.

కాని కి.జ.సం.లో కాంతి శక్తి నీటి అణువుని భేదిస్తుందని కనుక్కున్న కామెన్ 1939లో మరో గొప్ప ఆవిష్కరణ చేశాడు. కార్బన్ కి కార్బన్–14 అనే మరో రేడియో ధార్మిక రూపాంతరాన్ని కనుక్కున్నాడు. ఇది ఎంత మెల్లగా విచ్ఛిన్నం అవుతుందంటే ఆ కార్యక్రమం కొన్ని వేల ఏళ్ల పాటు సాగుతుంది.

జీవరాశుల్లో అత్యంత ప్రధానమైన అణువులు కార్బన్ అణువులే. మరిప్పుడు కార్బన్–14 ని ఉపయోగించి కి.జ.సం.లో మధ్యంతర రాశుల ఉత్పత్తి నాశనాలని పరిశీలించడానికి వీలయ్యింది.

ఇది చెయ్యాలంటే శాస్త్రవేత్తలు మొక్కలని వెలుగుతోను, కార్బన్–14 పరమాణువులు ఉన్న గాలితోను సంపర్కంలో పెట్టాలి. అప్పుడు ఆ మొక్కలని నుజ్జు చేసి అందులో ఏఏ అణువులలో కార్బన్–14 పరమాణువులు ఉన్నాయో పరిశీలించాలి. ఆ అణువులు కి.జ.సం. ద్వార ఉత్పన్నం అయ్యుంటాయి.

అయినా అతిసూక్ష్మ మోతాదుల్లో లభ్యమయ్యే పదార్థాలల్ని వేరు చెయ్యడం అంత సులభం కాదు. కాని 1944లో ఆర్చర్ జాన్ పోర్టర్ మార్టిన్ (1910–) మరియు రిచర్డ్ లారెన్స్ సిన్జ్ (1914–) అనే ఇద్దరు బ్రిటిష్ శాస్త్రవేత్తలు ఒక తెలివైన పద్ధతిని కనుక్కున్నారు. ఆ అణుమిశ్రమాన్ని నిలువుగా వేలాడదీసిన ఓ సచ్ఛిద్రమైన కాగితంలో (సూక్ష్మమైన కన్నాలున్న బ్లాటింగ్ పేపరు లాంటిది) పట్టిస్తారు. మిశ్రమం తడిగా ఉంటూంది కనుక అది కాగితంలో పైకి పాకుతుంది. వివిధ అణువులు వివిధ వేగాల్లో పైకి పాకుతాయి. కాసేపు అయ్యాక వివిధ రకాల అణువులు కాగితంలో వేరు వేరు ఎత్తుల్లో ఉంటాయి. ఇప్పుడు వాటిని సులభంగా వేరు చేయొచ్చు.

దీనిసే పేపర్ క్రొమటోగ్రఫీ అంటారు. ఈ ఆవిష్కరణకి గుర్తింపుగా మార్టిన్, సింజ్ లకి 1953లో కెమిస్ట్రీ నోబెల్ బహుమతి ప్రదానం జరిగింది.

ఇప్పుడు కి.జ.సం. జరుగుతున్న మొక్కలని కార్బన్–14 ఉన్న కార్బండయాక్సయిడ్ తో సంపర్కంలో ఉంచి, అలా ఉత్పన్నమైన పదార్థాలని పేపర్ క్రొమటోగ్రఫీతో వేరు చెయ్యొచ్చు. అప్పుడు శాస్త్రవేత్తలు అలా వేరు పడ్డ అణువులలో ఎందులో కార్బన్–14 ఉందో సులభంగా గుర్తుపట్టగలరు. పైగా కార్బన్–14 చాలా సేపు స్థిరంగా ఉంటుంది కనుక ఒక కొండ గుర్తులా పని చేస్తున్న కార్బన్–14 ఉన్న అణువులని శాస్త్రవేత్తలు సులభంగా పట్టుకోగలరు.

మొట్టమొదట్లో ప్రయోగాలన్నీ చాలా బాగా పని చేశాయి. మొక్క నుజ్జు నుండి ఏర్పడ్డ సంక్లిష్ట మిశ్రమం పేపర్ క్రొమటోగ్రాఫ్ చేత వేరు చెయ్యబడింది. కాని చిక్కు ఏమిటంటే కార్బన్–14 ఉన్న అణువులు ఎన్నో ఉన్నాయి. వాటిలో ఏది ముందు పుట్టిందో చెప్పడం ఎలా?

అప్పుడు మెల్విన్ కాల్విన్ (1911–) అనే అమెరికన్ శాస్త్రవేత్తకి ఒక ఉపాయం తట్టింది. అదేంటంటే కి.జ.సం. క్రియని కొద్ది నిముషాల పాటూ నడిపించి నిలిపేయడం. అలా చేసినప్పుడు కొద్ది పాటి అణువులే ఉత్పన్నం అవుతాయి. అవే తొలి దశలలో పుట్టిన అణువులు.

1948లో కాల్విన తన పరిశోధనలు ప్రారంభించాడు. నీట్లో పెరిగే ఏకకణజీవాలని, ఆల్గే అనే మొక్కలని తన ప్రయోగాల్లో వాడాడు. ఆ ఆల్గేని కాంతితోను, మామూలు కార్బండయాక్సయిడ్ తోను సంపర్కంలో ఉంచాడు. ఆల్గే చురుకుగా కిరణజన్యసంయోగం చెందడం ఆరంభించగానే వాటీని ఓ సన్నని పొడపైన గాజు నాళం ద్వార పోనిచ్చి వేడి వేడి ఆల్కహాల్ లోకి పోనిచ్చాడు. వేడి ఆల్కహాల్ లో పడ్డ కణాలు చచ్చిపోతాయి. కణాలు నాళం ద్వార ప్రయాణిస్తున్న సమయంలో కార్బన్–14 ఉన్న కార్బండయాక్సయిడ్ ని కణాలు ఉన్న నీట్లోంచి బుడగలుగా ప్రవేశపెట్టాడు. ఈ ఏర్పాటు వల్ల కణాలకి కేవలం ఐదు సెకనుల కాలం పాటు మాత్రమే కార్బన్–14 తో సంపర్కం దొరుకుతుంది. వెంటనే అవి అంతమవుతాయి.

అలా వచ్చిన ఆల్గేని నుజ్జు చేసి అందులోని అంశాలని పేపర్ క్రొమటోగ్రఫీ చేత వేరు చేశాడు. ఇంచు మించు తొంభై శాతం కార్బన్–14 అంతా ఒకే పదార్థంలో ఉండడం కనిపించింది. పరిశీలించి చూడగా ఆ పదార్థం ఫాస్ఫోగ్లిసరిక్ ఆమ్లం అని తేలింది.

ఫాస్ఫోగ్లిసరిక్ ఆమ్లం యొక్క అణువులో మూడు కార్బన్ అణువులు ఉంటాయి. ఆ మూడింటిలో ఏది కార్బన్–14 అయ్యిందో కూడా కనుక్కోగలిగాడు కాల్విన్. అలా చెయ్యడం వల్ల ఫాస్ఫోగ్లిసరిక్ ఆమ్లం ఎలా ఏర్పడిందో తెలిసింది.

ఇదే పంథాలో ఇంకా ఇంకా వివరంగా ప్రయోగాలు చేస్తూ పోగా కి.జ.సం.లోని చర్యలు ఎంత సంక్లిష్టమైనవో విశదమయ్యింది. ఈ కృషికి ఫలితంగా 1961లో కాల్విన్ కి నోబెల్ బహుమతి దక్కింది.

ఆ విధంగా రెండు శతాబ్దాల క్రితం ప్రీస్ట్లీ మొక్కలు ఆక్సిజన్ ని పుట్టిస్తాయి అని కనుక్కున్న నాటి కన్నా ఇప్పుడు మనకి కి.జ.సం. గురించి చాలా చాలా తెలుసు. కాని ఇప్పటికీ మనకి వివరాలన్నీ తెలీదు.

పచ్చని మొక్కలు వాటి సంక్లిష్టమైన క్లోరోప్లాస్ట్లు తో సాధించేదాన్ని ఇంకా సరళంగా కృత్రిమంగా ఎలా సాధించాలో ఇప్పటికీ మనకి తెలీదు. అదే తెలిస్తే సౌరశక్తిని కార్బండయాక్సయిడ్ తోను, నీటి తోను కలిపి, ఆ చర్యతో పెద్ద పెద్ద ఎత్తున చక్కెరలు, పిండిపదార్థాలు, రకరకాల ఆహారపదార్థాలు, పప్పుదినుసులు ఉత్పత్తి చెయ్యొచ్చు. అదే సాధ్యమైనతే ఇక లోకంలో ఆకలి బాధే ఉండదు.

కాని ఆ రోజు రావాలంటే ఇంకా ఎంతో తెలుసుకోవాలి.

5. ఆరంభం

అసలు సృష్టిలో మొట్టమొదట కి.జ.సం. ఎలా మొదలయ్యింది? దీనికి సమాధానం శాస్త్రవేత్తలకి తెలీదు. ఎందుకంటే అది జరిగినప్పుడు మనమెవ్వరమూ అక్కడ లేము కదా? కాని అసలు కి.జ.సం. ఎలా ఆరంభమయ్యిందో కొంత వరకు తర్కించవచ్చు.

ఇంచుమించు 450 కో ట్ల ఏళ్ల క్రితం భూమి ఆవిర్భవించినప్పుడు భూమి మీద జీవం ఉండేది కాదు. అంటే గాలిలో ససేమిరా ఆక్సిజన్ ఉండేది కాదన్నమాట.

ఆక్సిజన్ చాలా సక్రియమైన పదార్థం. అది సులభంగా ఎన్నో రకాల ఇతర పరమాణువులతో కలుస్తుంది. తటాలున భూమి మీద జీవం అంతా మాయమైతే గాలిలోని ఆక్సిజన్ అంతా మెల్లమెల్లగా మట్టిలోని వివిధ అణువులతో కలిసి క్రమంగా మాయమైపోతుంది. ప్రస్తుతం వాతావరణంలో ఆక్సిజన్ ఉండడానికి కారణం కి.జ.సం. వల్ల నీటి నుండి ఆక్సిజన్ వేరు పడుతూ ఉండడమే. ఆదిలో భూమి మీద కి.జ.సం. లేదు కనుక ఆక్సిజన్ ఉండేది కాదు.

భూమికి చేరువగా ఉన్న గ్రహాలు మార్స్ (అంగారక గ్రహం), వీనస్ (శుక్ర గ్రహం) గ్రహాలు. ఈ రెండు గ్రహాలలోని వాతావరణం ఉంది గాని జీవం లేదు. అందుచేత ఆ వాతావరణాలలో నైట్రోజన్, కార్బండయాక్సయిడ్ లు ఉన్నాయి కాని, ఆక్సిజన్ లేదు. బహుశ భూమి మీద కూడా తొలి రోజుల్లో గాలిలో నైట్రోజన్, కార్బండయాక్సయిడ్ లే ఉండేవేమో.

వీనస్ మరీ వేడిగా ఉంటుంది కనుక, మార్స్ మరీ చల్లగా ఉంటుంది కనుక ద్రవ్య రూపంలో నీరు అక్కడ నిలవదు. అలా కాకుండా భూమి మీద ఉష్ణోగ్రత మధ్యస్తంగా ఉంటుంది కనుక

ఇక్కడ సువిస్తార సముద్రాలు ఉన్నాయి. తేడా అంతా అక్కడే వస్తోంది. సముద్రాల కారణంగా భూమి వాతావరణంలో మొదట్నుంచీ కూడా తేమ బాగా ఉంటుంది. అది కాకుండా మీథేన్, అమోనియా వంటి వాయువులు కూడా తొలిదశల నుండి ఉండేవి. మీథేన్ అణువులో ఒక కార్బన్ పరమాణువు, నాలుగు హైడ్రోజన్ పరమాణువులు ఉంటాయి. అమోనియా అణువులో ఒక నైట్రోజన్ పరమాణువు, మూడు హైడ్రోజన్ పరమాణువులు ఉంటాయి.

నైట్రోజన్, కార్బండయాక్సయిడ్, నీరు, మీథేన్, అమోనియా– ఇవన్నీ కూడా చిన్న అణువులు గల పదార్థాలు. తగినంత శక్తి లభ్యమైతే ఈ పదార్థాలు వివిధ విన్యాసాలలో కలిసి పెద్ద పెద్ద అణువులు ఏర్పడతాయి. భూమి మీద తొలిదశలలో మెరుపుల నుండీ, అగ్నిపర్వతాల నుండి పుష్కలంగా శక్తి ప్రవహిస్తూ ఉండి ఉంటుంది. వీటన్నిటి కన్నా ముఖ్యంగా సూర్య కాంతిలోని అత్యంత శక్తివంతమైన అతినీల కాంతి సమృద్ధిగా ఉండి ఉంటుంది. ఈ కాంతి మన కళ్ళకి కనిపించకపోయినా ఒంటి మీద ఎండ పడినప్పుడు ఒళ్లు చురుక్కు మనేది ఈ కాంతి కారణంగానే.

1952లో స్టాన్లీ లాయిడ్ మిలర్ (1930–) అనే అమెరికన్ శాస్త్రవేత్త భూమి మీద తొలి వాతావరణంలో ఉండే కొన్ని సరళ వాయువుల మిశ్రమాన్ని తీసుకుని అందులోకి విద్యుత్ చురకల (electric sparks) రూపంలో శక్తిని ప్రవేశపెట్టాడు. ఓ వారం తరువాత పోయి చూడగా ఆ మిశ్రమంలో చిన్న అణువులు పెద్ద అణువులుగా సంయోగం చెందడం కనిపించింది.

ఆ తరువాత ఇతరులు కూడా అదే విధంగా ప్రయోగాలు చేసి చూడగా మరిన్ని ఆసక్తి కరమైన అణువులు ఏర్పడినట్టు తెలిసింది. ఈ అణువులలో అమినో ఆసిడ్ లు కూడా ఉన్నాయి. ఈ అమినో ఆసిడ్ లే మాలికలుగా కలిసి ప్రోటీన్లుగా ఏర్పడతాయి. ఇవి గాక పలు న్యూక్లియోటయిడ్లు కూడా ఏర్పడ్డాయి. ఇవి కలిసి న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ అణువులుగా మారతాయి. ఈ విధంగానే పార్ఫిరిన్ వలయాలు రూపొంది ఉండవచ్చు.

ఈ పదార్థాలన్నీ చాలా ముఖ్యమైనవే. ఎందుకంటే జీవరాశులలో రసాయన చర్యలని నియంత్రించే ఎంజైమ్లు ప్రోటీన్లే. అదే విధంగా కణవిభజనని, జీవలక్షణాల అనువంశిక ప్రసారాన్ని నియంత్రించేది న్యూక్లిక్ ఆసిడ్లే. శ్వాస క్రియలోను, కి.జ.సం.లోను ముఖ్య పాత్ర ధరించే అణువుల్లో పార్ఫిరిన్ వలయాలు ప్రధాన భాగాలు.

సిడ్నీ వాల్టర్ ఫాక్స్ (1912–) అనే అమెరికన్ శాస్త్రవేత్త అమినో ఆసిడ్లని వెచ్చ జేస్తే అవి చిన్న చిన్న ప్రోటీన్ల అంటి అణువులుగా మారుతాయి అని కనుక్కున్నాడు. ఇవి కలిసి చిన్న చిన్న గోళాకార రాశులుగా ఏర్పడతాయి. ఆ రాశులు చూడడానికి కణాల మాదిరిగానే ఉంటాయి.

కనుక తొలుత భూమి మీద అలాంటి ప్రోటీన్ కణాలు ఏర్పడి ఉంటాయని ఊహించుకోవచ్చు. అతినీల కాంతి ప్రభావం చేత చిన్న చిన్న అణువులు కలిసి అలా ఏర్పడి ఉండవచ్చు. వాటిలో హెచ్చుతగ్గులుగా జీవలక్షణాలు కొట్టొచ్చినట్టు కనిపించి ఉండవచ్చు. జీవలక్షణం హెచ్చుగా ఉన్న అణువులు జీవలక్షణం తక్కువగా ఉన్న అణువులని భక్షిస్తూ ఉండవచ్చు.

అలాంటి ప్రోటీన్ కణాలు మరీ సరళంగా ఉండడం చేత అవి తీరుగా విభజితమై, వృద్ధి చెందలేక పోయి ఉండవచ్చు. అదే విధంగా కొన్ని న్యూక్లిక్ ఆసిడ్లు కూడా తీరుగా విభజితమైనా, ఎంజైమ్ల లేమి కారణం చేత అంతకన్నా ఏమీ చేయలేకపోయి ఉండవచ్చు.

ఏదో ఒక దశలో ఈ ప్రోటీన్ కణాలు, న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ కణాలు కలిసి ఉండవచ్చు. అలా ఏర్పడ్డ కొత్త కణాలు మరింత సమర్థవంతంగా తయారై ఉండవచ్చు. విభజన, తదితర క్రియలన్నీ ఆ కణాలు సమర్థవంతంగా నిర్వహిస్తూ ఉండవచ్చు. ఈ కణాలు ఇంచు మించు 350 కోట్ల ఏళ్ల క్రితం పుట్టి ఉండవచ్చు. వీటినే ప్రోకార్యోట్లు అంటారు. ఇప్పటికి ఇంకా సజీవంగా ఉన్న బాక్టీరియాకి ఇవి పూర్వీకులు. కాని మొట్టమొదటి ప్రోకార్యోట్లు నేడు మనం చూస్తున్న ఆధునిక బాక్టీరియాల కన్నా చాలా సరళంగా ఉండేవేమో.

కాని వాతావరణం వేగంగా మారిపోతోంది. సూర్యుడి నుండి వచ్చే అతినీల కాంతి వాతావరణంలో పై పొరల్లో ఉండే నీటి ఆవిరి కణాలని ఆక్సిజన్, హైడ్రోజన్ లుగా భేదిస్తూ ఉంటుంది. హైడ్రోజన్ పరమాణువులు మరీ చిన్నవి కనుక, తేలికైనవి కనుక, భూమి గురుత్వాకర్షణ వాటిని కిందకి లాగలేకపోవడం చేత అవి అంతరిక్షంలోకి ఎగిరిపోతాయి. ఇక గాలి పై పొరల్లో ఆక్సిజన్ పరమాణువులు మిగిలాయి. శక్తివంతమైన అతినీల కాంతి ప్రభావం చేత ఈ పరమాణువులు శక్తివంతమైన మూడు పరమాణువులు గల సంయోగంగా మారుతాయి. మామూలు ఆక్సిజన్ లో ఉండే రెండు పరమాణువులకి బదులు ఈ కొ త్త సంయోగంలోమూడు పరమాణువులు ఉంటాయి. దీనినే ఓజోన్ అంటారు.

మామూలు ఆక్సిజన్ అయితే అతినీల కాంతిని వాతావరణంలోంచి ప్రవేశించ నిస్తుంది. కాని ఓజోన్ అలా ప్రవేశాన్నివ్వదు. అంటే గాలి పైపొరల్లో ఓజోన్ పొర వృద్ధి చెందుతున్న కొలది ఇంకా ఇంకా తక్కువ అతినీల కాంతి భూమికి చేరుతుంది. చిన్న అణువులు తక్కువ మోతాదుల్లో ఏర్పడసాగాయి. జీవకణాలకి తగినంత ఆహార దొరక్క నాశనం కాసాగాయి.

కాని పార్ఫిరిన్ వలయం ఉన్న సంయోగాలు ఏర్పడి రాశులుగా ఏర్పడసాగాయి. ఓజోన్ పొర లోంచి ప్రవేశించగలిగే మామూలు దృశ్య కాంతి లోని శక్తిని ఇవి సునాయాసంగా గ్రహించలిగేవి. మొదట్లో పార్ఫిరిన్ వలయాలు కాంతిని కాస్త అసమర్థవంతంగా వాడుకునేవి. కాని కాలక్రమేణా అవి కాంతిని మరింత సమర్థవంతంగా వాడుకోవడం ప్రారంభించాయి. ఆహార వనరులని పోగు చేసుకుని వృద్ధి చెందాయి. అలా కొన్ని లక్షల ఏళ్ళు గడిచాక దృశ్య కాంతిలోని శక్తి ని మరింత

సమర్థవంతంగా వినియోగించబడడం జరిగింది. క్రమంగా పార్ఫిరిన్ కణాలు క్లోరోఫిల్ కి చాలా సన్నిహితంగా ఉండే అణువులని నిర్మించసాగాయి. అవి క్లోరోప్లాస్ట్ లని పోలిన అంశాలుగా రూపుదిద్దుకోసాగాయి. ఇప్పటికీ బాక్టీరియాల లాంటి కొన్ని చిన్న చిన్న కణాలు ఉన్నాయి. ఇవి క్లోరోప్లాస్ట్ ల కన్నా అంత పెద్దవేమీ కావు. వీటినే సయనో బాక్టీరియా అంటారు. ఇవి ప్రోకార్యోట్ల ద్వితీయ రూపం.

ఈ క్లోరోప్లాస్ట్ లు నీటి అణువులని విచ్ఛిన్నం చేసి హైడ్రోజన్ అణువులని, దాని నుండి ఆహారాన్ని పుట్టిస్తాయి. ఆక్సిజన్ పరమాణువులు గాల్లో కలిసి అక్కడ పోగవసాగాయి. మొట్టమొదటి జీవరాశులు ఈ సక్రియమైన ఆక్సిజన్ అణువుల ధాటికి తట్టుకోలేక నాశనమయ్యాయి.

మెల్లగా పార్ఫిరిన్ అణువులు కొన్ని ఎంజైమ్ లని తయారు చేశాయి. ఈ ఎంజైమ్ లు ఆక్సిజన్ ని కార్బన్ తోను, హైడ్రోజన్ తోను కలిపి శక్తిని వెలికి తీయగలిగాయి. ఇవి ఆధునిక మైటోకాండ్రియాకి పూర్వీకులు అనుకోవచ్చు. ఇవి కూడా మరో జాతి ప్రోకార్యోట్లే.

ఓ రెండు వందల కోట్ల ఏళ్ల పాటు ఒక్క ప్రోకార్యోట్లే భూమి మీద అనన్య జీవరాశులుగా నిలిచాయి.

మెల్లమెల్లగా ఈ ప్రోకార్యోట్లు కలిసి మరింత పెద్ద, సంక్లిష్టమైన కణాలుగా మారాయి. న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ లు , ప్రోటీన్ లు ఉన్న కణాలు, క్లోరోప్లాస్ట్ లతోను, మైటోకాండ్రియా తోను కలిసి ఆధునిక వృక్ష కణాలని పోలిన కణాలు నిర్మించబడ్డాయి. కొన్ని మైటోకాండ్రియా తో మాత్రమే కలిసి జంతు కణాలని పుట్టించాయి. ఈ రెండు జాతులని యూకార్యోట్లు అంటారు.

గత మూడు కో ట్ల ఏళ్లలో జీవరాశులన్నిటిలో యూకార్యోట్లే ప్రధాన పాత్ర వహిస్తూ వచ్చాయి. 80 కో ట్ల ఏళ్ల క్రితం నుండి ఈ కణాలు కలిసి కలిసి బహుళ కణాలు గల మొక్కలుగా, జంతువులుగా మారాయి. వీటినే బహుళ కణ జీవులు అంటారు.

ప్రస్తుత ప్రపంచం బహుళకణాలు గల మొక్కలతో, జంతువులతో నిండిపోయింది – చెట్లు, చేపలు, మనుషులు, సీతాకోక చిలుకలు, చిలుకలు ఇలా నానా రకాల వృక్ష, జంతు రాశులతో కిటకిటలాడుతోంది. ఒకే కణం గల మొక్కలు, జంతువులు ఇంకా ఉన్నాయి. ఆక్సిజన్ సమక్షంలో బతకలేని బాక్టీరియాలు ఇంకా ఉన్నాయి. వాటి కణాలలో మైటాకాండ్రియాలో ఎప్పుడూ జతపడలేదన్నమాట.

ఆక్సిజన్ మీద ఆధారపడని బాక్టీరియాలు, వాటిని తిని బతికే ఇతర జీవాలు మినహాయిస్తే, తదితర జీవజాతులన్నీ ప్రత్యక్షంగానో, పరోక్షంగానో కి.జ.సం. మీద ఆధారపడేవే. కి.జ.సం.

లేకపోయుంటే ఈ భూమి ప్రాథమిక జీవరాశులు మాత్రమే ఉండే ఆదిమ యుగానికి దిగజారిపోయి ఉండేది.

అందుకే నేటి పర్యావరణ శాస్త్రవేత్తలు పచ్చని బయళ్ళని, అడవులని సంరక్షించమని ఘోషిస్తూ ఉంటారు. జీవదాయక సూర్య రశ్మి నేలకి చేరకుండా అడ్డుపడే వాతావరణ కాలుష్యాన్ని అరికట్టమని పోరు పెడుతూ ఉంటారు. శాస్త్రవేత్తలు ఇలాగే ప్రశ్నిస్తూ ఆ ప్రశ్నలకి సమాధానాల కోసం అన్వేషిస్తూ ఉండాలి. అలా చేస్తూ పోతే క్రమంగా భూమి మీద కిరణజన్యసంయోగం అనే చక్కని, పచ్చని కథలో కొత్త అధ్యాయాలు తెరుచుకుంటాయి.