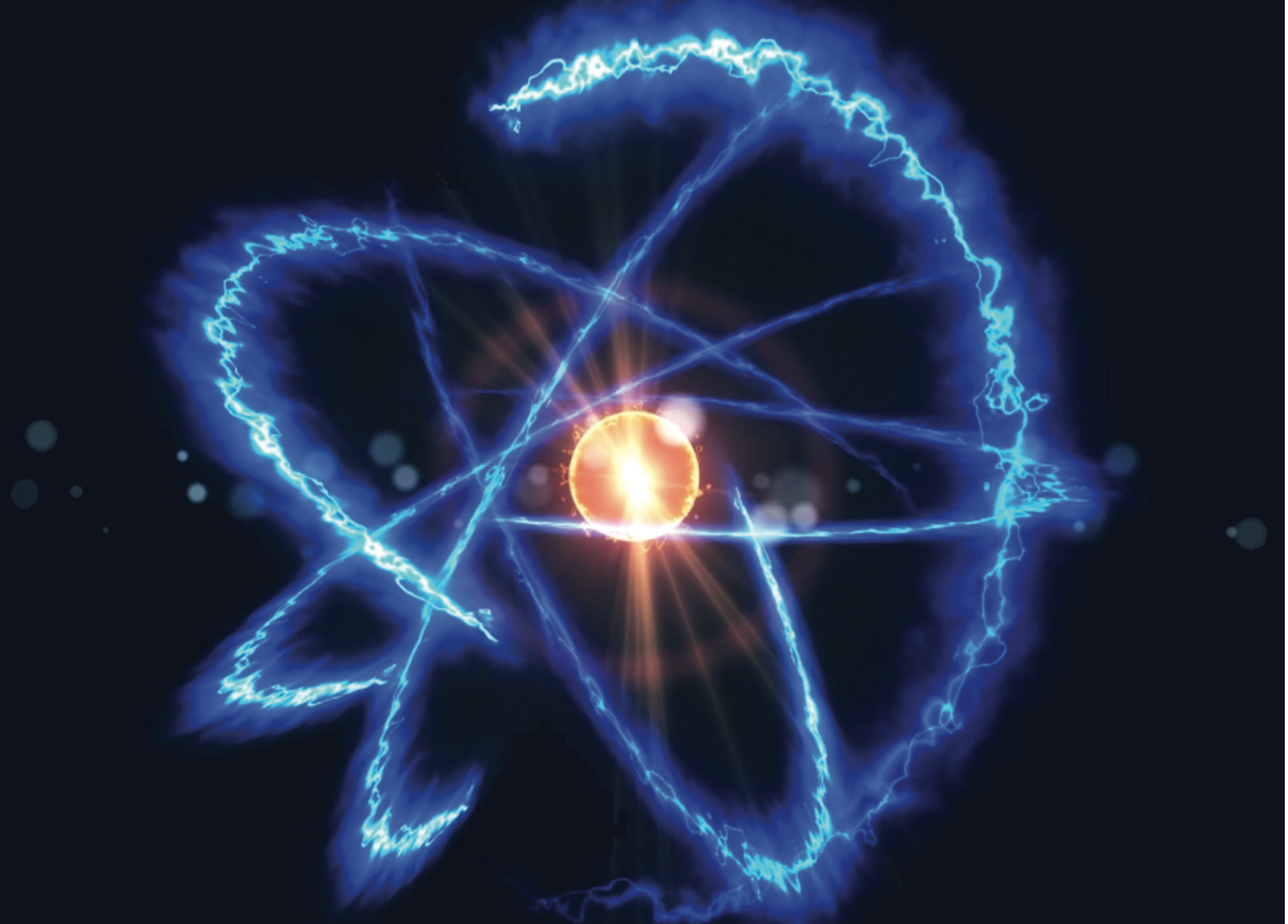
భౌతిక శాస్త్ర వ్యాసాలు

వేమూరి వేంకటేశ్వర రావు



భౌతిక శాస్త్ర వ్యాసాలు

వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు

2023

భౌతిక శాస్త్ర వ్యాసాలు

ముందుమాట

ఇరవైయవ శతాబ్దం భౌతిక శాస్త్రానికి స్వర్ణయుగం అనవచ్చు. మేక్స్ ప్లాంక్ 1900 లో వేసిన విత్తు మహా వృక్షమై మన జీవితాలనే మార్చి వేసింది. అప్పటి నుండి ఇరవైయవ శతాబ్దం అంతం వరకు శరవేగంతో జరిగిన సంఘటనలని సాధ్యమైనంత తేలిక భాషలో, సాధ్యమైనంత తక్కువ గణిత సమీకరణాలు మాత్రం ఉపయోగించి, ఒక సింహావలోకనం చేసేను. ఈ పుస్తకం చదివి లబ్ది పొందాలంటే కనీసం ఉన్నత పాఠశాల వరకు తారసపడే గణితం, భౌతిక శాస్త్రం బాగా తెలిసి ఉండాలి, శాస్త్రం తెలుసుకోవాలనే కుతూహలం కుతకుతలాడుతూ ఉండాలి.

తెలుగులో శాస్త్రీయ పదజాలం తక్కువ. ఉన్న కొద్ది మాటలలో కూడా స్థాయికరణ లేదు. ఒకే ఇంగ్లీషు మాటని ఒక్కొక్కరు ఒక్కొక్క విధంగా అనువదిస్తూ ఉంటారు. అందుకని నేను వాడిన మాటలకి సమానార్థకాలైన ఇంగ్లీషు మాటలని వెనువెంటనే కుండలీకరణాలలో చూపించేను. పుస్తకం చివర ఈ మాటలన్నిటిని కూడగట్టి, చదువరుల సౌలభ్యం కొరకు, ఆకారాదిక్రమంలో అమర్చేను.

ఈ పుస్తకం లోని అధ్యాయాలని నేను అమర్చిన క్రమంలోనే చదవాలనే నిబంధన ఏదీ లేదు. కానీ ఆధునిక భౌతిక శాస్త్రంతో పరిచయం తక్కువ ఉన్న పాఠకులు నేను సూచించిన క్రమంలో చదివితే విషయం తేలికగా అర్థం అవడానికి అవకాశం ఎక్కువ అవుతుంది.

ఇది పాఠ్య పుస్తకం కాదు. పాఠ్య పుస్తకాలకి అనుబంధం అనుకోవచ్చు. భౌతిక శాస్త్రం లోని ఉన్నత భావాలని, జనరంజన శైలిలో, నలుగురికి అందుబాటుగా ఉండే భాషలో రాసిన ప్రయత్నం ఇది.

అట్ట మీద బొమ్మ వేసినది శ్రీ సాయి బ్రహ్మానందం గొర్తి

వేమూరి వెంకటేశ్వరరావు.
ప్లెజన్టన్, కేలిఫోర్నియా, జూలై 2023

విషయసూచిక

1. భౌతిక శాస్త్రంలో మనం వాడే మాటలు
2. పరమాణువులు, అణువులు, బణువులు
3. అత్యూద వినిపాతం
4. కాంతిని గుళికీకరించడం
5. అణువుని గుళికీకరించడం
6. రేణువులా? తరంగాలా?
7. ష్రోడింగర్ సమీకరణం చెప్పేది ఏమిటి?
8. గతి (ఆర్బిట్) కి విగతి (ఆర్బిటల్) కి మధ్య తేడా ఏమిటి?
9. గుళిక వాదంలో స్పిన్
10. ష్రోడింగర్ పిల్లి
11. అనిర్ధారిత సూత్రం
12. గుళిక వాదం, వేదాంత సారం
13. యంతరపి (ఎంట్రోపి) అంటే ఏమిటి?
14. మెక్స్వెల్ సమీకరణాలు ఏమిటి చెబుతున్నాయి?
15. రేడియేషన్ అంటే భయపడడం ఎంతవరకు సమంజసం?
16. లోహములు, ఆలోహములు
17. డిరాక్ సమీకరణం
18. భౌతికశాస్త్రంలో ప్రభంజనాలు: ఒక సింహావలోకనం
19. సాంకేతిక పదజాలపు జాబితా
20. రచయిత పరిచయం, రచయిత రాసిన తెలుగు పుస్తకాలు

1. భౌతిక శాస్త్రంలో మనం వాడే మాటలు

భౌతిక శాస్త్రంలో మనం నిత్య జీవితంలో వాడుకునే మామూలు మాటలని కొన్నింటిని ప్రత్యేకమైన అర్థాలతో వాడతారు.

1. **పని (work)**

ఉదాహరణకి పని (work) అనే మాటనే తీసుకుందాం. సాధారణ సందర్భాలలో ఇది ఇంటిపని కావచ్చు, కూలిపని కావచ్చు, ఉద్యోగం కావచ్చు. కాని శాస్త్రంలో ఈ మాటకి, తత్సంబంధమైన బలం (force), శక్తి (energy), పాటవం (power), మొదలైన ఇతర మాటలకి నిర్దిష్టమైన శాస్త్రీయ అర్థాలు ఉన్నాయి.

భౌతిక శాస్త్రపు దృష్టిలో ఒక వస్తువు మీద బలం (force) ప్రయోగించినప్పుడు పని (work) జరుగుతుంది. పట్టాల మీద ఉన్న ఒక రైలు పెట్టెకి తాడు కట్టి బలంగా లాగేమనుకుందాం. అప్పుడు మనం ఉపయోగించిన బలం ఎంతో కొలిచి, పెట్టె ఎంత దూరం కదిలిందో కొలిచి, ఈ రెండు కొలతాంశాల (measurements) ని గుణిస్తే, జరిగిన పని ఎంతో తెలుస్తుంది. ఈ పెట్టెని 'బ' అంత విలువ గల బలంతో లాగితే అది 'దూ' అనేంత దూరం కదిలిందని అనుకుందాం. ఇప్పుడు మనం చేసిన పరిశ్రమ వల్ల 'ప' అంత పని (work) జరిగిందని అంటాం. ఇదే విషయాన్ని ఒక గణిత సమీకరణం రూపంలో రాయవచ్చు:

జరిగిన పని = ప్రయోగించిన బలం x కదలిన దూరం

లేదా, టూకీగా

పని = బలం x దూరం (Work = Force x Distance)

లేదా, ఇంకా టూకీగా

ప = బ x దూ (W = F x d)

బలాన్ని కొలవడానికి నూటన్ (Newton) అనే కొలతాంశం (measurement unit) వాడతారు. దూరాన్ని కొలవడానికి మీటరు (meter) అనే కొలతాంశాన్ని వాడతారు. కనుక జరిగిన పనిని సూచించడానికి నూటన్-మీటరు (Newton-meter) అనే కొలతాంశాన్ని వాడతారు. మనం పెట్టె మీద ప్రయోగించిన బలం 50 నూటన్లు అయినప్పుడు, ఆ పెట్టె 5 మీటర్లు కదిలితే జరిగిన పని

50 నూటన్లు x 5 మీటర్లు = 250 నూటన్-మీటర్లు అవుతుంది.

చూశారా! ఇక్కడ పని, బలం, దూరం అనే మాటలు ప్రత్యేకమైన అర్థాలు సంతరించుకున్నాయి. ఈ అర్థాలని పరిస్పుటం చెయ్యటానికి రెండు విషయాలు గమనిద్దాం. ఒకటి, రైలుపెట్టె పట్టాల మీద ఉంది కనుక అది ఒకే ఒక దిశలో కదలగలదు. ఏ దిశలో? పట్టాలు ఉన్న దిశలో. కనుక మనం ఇచ్చే ‘లాగుడు’ (pull) కూడ అదే దిశలో ఉండాలి. రెండు, ఈ సందర్భంలో జరిగిన పనిని కొలవడానికి ఒక కొలతాంశం (measuring unit) కావలసి ఉంటుంది. ఈ సందర్భంలో మనకి అనుకూలమైన కొలతాంశం పేరు ‘నూటన్ మీటరు.’ బియ్యాన్ని ‘కుంచం’తో కొలిచినట్లే పనిని ‘నూటన్ మీటరు’ తో కొలుస్తారు. (ఈ ‘నూటన్ మీటరు’ కి పూర్వం ‘జూల్’ (Joule) అనే పేరు కూడా ఉండేది. నూటన్ గౌరవార్థం పేరు మార్చేరు తప్ప కొలతలో మార్పు లేదు.) ఒక కిలోగ్రాము గరిమ ఉన్న వస్తువుని ఒక నూటన్ పరిమాణం ఉన్న బలాన్ని ఉపయోగించి ఒక మీటరు దూరం కదిపితే ఒక ‘నూటన్ మీటరు,’ లేదా ఒక ‘జూలు,’ పని జరుగుతుంది. కదలిక లేకపోతే పని జరగదు. పని జరగాలంటే బలం ఉపయోగించి కదలిక చూపించాలి.

ఉదా 1: ఒక వ్యక్తి కోపంగా గోడని గుద్దేడు. ఇప్పుడు పని జరిగిందా? లేదు. ఇక్కడ పని జరగాలంటే గోడ కదలాలి. కదలిక లేకపోతే పని జరగలేదన్నమాట! కనుక గోడని గుద్దడం వల్ల చెయ్యి విరిగిందేమో కానీ, పని జరగలేదు.

ఉదా 2: అలమారులోఉన్న పుస్తకం కింద పడింది. ఇక్కడ పుస్తకం కదిలింది కనుక పని జరిగింది. పుస్తకం మీద గురుత్వాకర్షక బలం పడింది కనుక పుస్తకం కదిలింది.

The joule (J) is a unit of *work* in the SI system. The commonly used units for work done are newton-meters (N-m), watt-seconds (W-s), or ergs. 1 joule = 1 kg-m^2/sec^2

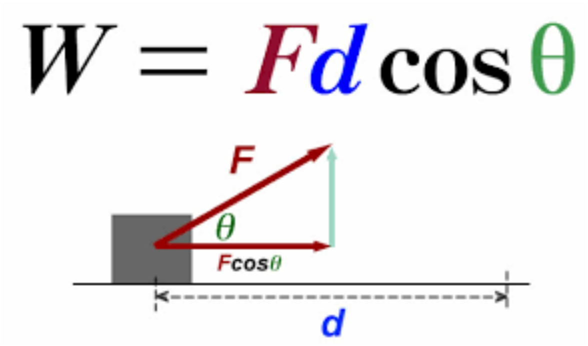
The newton (N) is a unit of *force* in the SI system. It is the force necessary to accelerate a mass of one kilogram (kg) by one meter per second per second (m/sec^2). 1 newton = 1 kg-m/sec^2

Multiply force by distance (over which that force is applied) and you get work or energy.

ఇప్పుడు మనం పెట్టెకి కట్టిన తాడుని రైలు పట్టాలకి సమాంతరంగా కాకుండా కొంచెం ఏటవాలుగా, ϑ డిగ్రీలు ఉండేలా, పట్టుకుని ఇందాకటి బలం (F) తోటే లాగేమనుకుందాం. అప్పుడు, నిజానికి రైలు పెట్టె మీద పడే బలం (F cos ϑ) ప్రాప్తికే ఉంటుంది కనుక ఇప్పుడు జరిగిన పని (బొమ్మ చూడండి):

ప = బ x దూ x cos ϑ (W = F x d x cos ϑ)

ఇక్కడ బొమ్మని చూస్తే F cos ϑ విలువ F విలువ కంటే తక్కువ అని అర్థం అవుతోంది కదా! (cos ϑ విలువ ఎల్లప్పుడూ 0 కి 1 కి మధ్యస్థంగానే ఉంటుంది.) కొన్ని ఉదాహరణలు చూద్దాం.



బొమ్మ. జరిగిన పని = వాడిన బలం x కదలిన దూరం

ఉదా 1: ఒక వ్యక్తి కోపంగా గోడని గుద్దేడు. ఇప్పుడు పని జరిగిందా? లేదు. ఇక్కడ పని జరగాలంటే గోడ కదలాలి. కదలిక లేకపోతే పని జరగలేదన్నమాట! కనుక గోడని గుద్దడం వల్ల చెయ్యి విరిగిందేమో కానీ, పని జరగలేదు.

ఉదా 2: అలమారులోఉన్న పుస్తకం కింద పడింది. ఇక్కడ పుస్తకం కదిలింది కనుక పని జరిగింది. పుస్తకం మీద గురుత్వాకర్షక బలం పడింది కనుక పుస్తకం కదిలింది.

2. బలం (force)

ఇప్పుడు ఫోర్స్ (force) అన్న మాట సంగతి చూద్దాం. ఫోర్స్ (force) అన్న మాటకి బలం అన్న మాటని సమానార్థకంగా వాడేము కనుక గురుత్వాకర్షక బలం అంటే gravitational force, విద్యుదయస్కాంత బలం అంటే electromagnetic force.

ఉదా 3. భీముడు 200 నూటన్ల బలం (force) ఉపయోగించి ఒక పెట్టెని మూడు అంతస్తులు (లేదా 10 మీటర్లు ఎత్తుకి) మోసుకు వెళ్లి అక్కడ నుండి 50 నూటన్లు బలం ఉపయోగించి 35 మీటర్లు దూరం (0.5 మీ/సెకండు చొప్పున) తోసుకు వెళ్ళేడు. భీముడు ఎంత పని (work) చేసేడు?

- పెట్టెని నిట్టనిలువుగా 10 మీటర్లు పైకి ఎత్తడానికి చేసిన పని = 200 నూటన్లు x 10 మీటర్లు x cos (0) = 2,000 నూటన్-మీటర్లు
- పెట్టెని అడ్డుగా 35 మీటర్లు దూరం తొయ్యడానికి చేసిన పని = 50 నూటన్లు x 35 మీటర్లు x cos (0) = 1,750 నూటన్-మీటర్లు
- మొత్తం పని = 2000 + 1750 = 3,750 నూటన్-మీటర్లు
- ఇక్కడ 0.5 మీ/సెకండు చొప్పున అనే అంశం ఉపయోగించవలసిన అవసరం రాలేదు.
- ఇక్కడ θ = 0 అయింది. ఎందుకంటే బలం ప్రయోగించిన దిశలోనే పెట్టె కదిలింది కనుక వాటి మధ్య కోణం విలువ 0. కనుక cos (0) = 1.

3. శక్తి (energy)

ఆధునిక భౌతిక శాస్త్రంలో ‘ఎనర్జీ’ (energy) అనే ఇంగ్లీషు మాటకి శక్తి అని తెలుగులో అర్థం చెప్పుకోవచ్చు. ‘ఎనర్జీ’ అన్న మాట ergos అనే గ్రీకు పదం నుండి పుట్టింది. ‘ఎనర్జీ’ అన్న మాట 1807లో వాడుకలోకి వచ్చింది. ‘ఎనర్జీ’ లేదా శక్తి అంటే పని చెయ్యగలిగే ఓపిక, సమర్ధత లేక స్థోమత; పని ఎక్కువ సేపు చెయ్యాలంటే ఎక్కువ ఓపిక ఉండాలి. శక్తి (ఓపిక) అనేది ఎంత పని చేసేం, ఎంత సేపు చేసేం అన్న విషయాలని కొలుస్తుంది.

శక్తి = పని x కాలం (Energy = Work x Time)

శక్తిని కొలవడానికి జూల్ అనే కొలతాంశాన్ని వాడతారు. శక్తిని కొలవడానికి ఇంకా అనేక కొలతాంశాలు వాడతారు కానీ, ప్రస్తుతానికి జూల్ (Joule) తో సరిపెట్టుకుందాం. పని యొక్క కొలమానం నూటన్-మీటరు కదా! కనుక ఒక నూటన్-మీటరు పనితో ఒక మీటరు దూరం కదిలితే అది ఒక జూల్ శక్తి అవుతుంది.

సెకండు ఒక్కంటికి ఒక జూల్ శక్తి ఖర్చు అయితే దానిని వాట్ (Watt) అంటారు. కాలం కొలమానం సెకండు కనుక శక్తి కొలమానం వాట్-సెకండు అవుతుంది. పని గంట (hour) సేపు జరిగితే శక్తి వాట్-అవర్ అవుతుంది. మన ఇళ్లల్లో ఉండే విద్యుత్ దీపపు బుడ్డి మీద 100 W అని ఉంటే అది 100 వాట్ల బుడ్డి. ఇది 10 గంటలు వెలిగితే ఖర్చు అయిన విద్యుత్ శక్తి విలువ 1000 వాట్-అవర్ లు. దీనినే మనం “యూనిట్” అంటాం. ఇది 3.6 జూలులు తో సమానం. (1 Watt-hour = 3.6 Joules.)

- టీవీ కానీ, కంప్యూటరు కానీ 6 గంటలు వాడితే ఉరమరగా 1 యూనిట్ ఖర్చు అవుతుంది.
- బట్టలు ఉతికే యంత్రం, గిన్నెలు కడిగే యంత్రం 1 గంట వాడితే ఉరమరగా 1 యూనిట్ ఖర్చు అవుతుంది.
- స్నానం చెయ్యడానికి తొందరగా వేడి నీళ్లు సరఫరా చేసే యంత్రం 10 నిముషాలు వాడితే ఉరమరగా 1 యూనిట్ ఖర్చు అవుతుంది.

4. పాటవం (power)

పవర్ (power) ని పాటవం అని పిలవచ్చు. పని ఎంత జోరుగా జరుగుతోందో చెబుతుంది ఇది. పాటవాన్ని కొలవడానికి వాట్ (Watt) అనే కొలతాంశం వాడతారు. పూర్వం “అశ్వ పాటవం” (horse power) అనే కొలతాంశం వాడేవారు. ఈ రోజుల్లో మనం తోలే కార్లు ఒక స్థిరమైన వేగంతో నడుస్తూన్నప్పుడు సుమారు 20 అశ్వపాటవాలు ఉపయోగిస్తాయి. ఎదట ఉన్న కారుని దాటుకుని ముందుకి జోరుగా దూసుకు వెళ్లవలసి వచ్చినప్పుడు కారు త్వరణాన్ని జోరుగా పెంచాలి కనుక ఆ సమయంలో 100 అశ్వపాటవాలు కావలసి ఉంటుంది.

పని తొందరగా జరగాలంటే శక్తి తొందరగా లభించాలి. ఒక మనిషి కాని, యంత్రం కాని ఒక సెకండులో ఎంత శక్తిని విడుదల చెయ్యగలదో దానిని బట్టి ఆ శాల్తీ ఆ పనిని ఎంత తొందరగా చెయ్యగలదో తెలుస్తుంది. ఈ లక్షణాన్ని పాటవం (power) అందాం.

పాటవం = పని÷కాలం (Power = Work ÷ Time)

విద్యుత్ దీపాల పాటవం ఇన్ని వాట్లు అని చెబుతాము కదా. అరవై వాట్లు పాటవం ఉన్న బుడ్డి 30 రోజులు వెలిగితే మనం ఎంత విద్యుత్తు ఖర్చు పెట్టినట్లు?

60 వాట్లు x 30 రోజులు x 24 గంటలు/రోజుకి = 43,200 వాట్-గంటలు = 43.2 కిలో వాట్-గంటలు (వీటినే మన దేశంలో యూనిట్లు అంటాం.)

మరొక కోణంలో, పని = బలం x కదలిన దూరం. కనుక
పాటవం = (బలం x కదలిన దూరం)÷కాలం
(Power = Force x displacement) ÷ Time
కనుక, పాటవం = (బలం) x (కదలిన దూరం ÷కాలం) = బలం x వేగం
కదలిన దూరంని స్థానభ్రంశము అని కూడా అంటారు.
ఒక యంత్రం ఎక్కువ పాటవంతో పని చేసున్నాదని అంటే ఆ యంతానికి బలం, వేగం రెండూ ఉన్నాయన్నమాట.

5. సత్వం (strength)

భౌతిక శాస్త్రంలో బలం అంటే force అని నిర్ధారించేము కనుక strength కి మనం మరొక మాట వెతుక్కోవాలి. భౌతిక శాస్త్రంలో strength అంటే బల ప్రయోగం జరిగినప్పుడు ఉన్న ఆకారం చెదిరిపోకుండా నిలబెట్టుకోగలిగే స్థోమత. బల ప్రయోగం అంటే గట్టిగా నొక్కి గుండ-పిండి చెయ్యడం కావచ్చు లేదా సాగదియ్యడం కావచ్చు. ఈ భావానికి, ప్రస్తుతానికి, సత్వం, సత్తువ, త్రాణ, దిట్టతనం వంటి మాటలని వాడి చూద్దాం.

నీతి: ఈ కథనం నీతి ఏమిటి? మనం దైనందినం వాడుకునే సామాన్యమైన మాటలకి శాస్త్రంలో నిర్దిష్టమైన అర్థం ఉండొచ్చు. ఆ శాస్త్రీయ అర్థానికి వాడుకలో ఉన్న అర్థానికి మధ్య తేడా ఉండొచ్చు.

6. ఘాతీయ సంకేతనం (Exponential Notation)

ఆధునిక శాస్త్రీయ రంగంలో అతి పెద్ద సంఖ్యలు, అతి చిన్న సంఖ్యలు తారసపడడం సర్వసాధారణం. ఇటువంటి సంఖ్యలని క్లుప్తంగా రాయడానికి వాడే పద్ధతిని శాస్త్రీయ సంకేతనం (scientific notation) అంటారు. అటువంటి సంకేతనాలలో ఒకటైన ఘాతీయ సంకేతనం (exponential notation) ని ఇక్కడ పరిచయం చేస్తాను.

10 = 10^{1} = పది

1, 000, 000 = 10^{6} = మిలియన్

1, 000, 000, 000 = 10^{9} = బిలియన్

వగైరా. ఇక్కడ 10 నెత్తి మీద కనిపిస్తూన్న 1, 6, 9, వగైరాలని ఘాతం (exponent) అంటారు. ఉదాహరణకి 1 తరువాత 20 సున్నలు ఉన్న సంఖ్యని 10^{20} అని రాస్తారు.

ఇదే బాణీలో

$10^{-1} = \frac{1}{10}$ = 0.1

$10^{-2} = \frac{1}{100}$ = 0.01

$10^{-6} = \frac{1}{1\,000\,000}$ = 0.000 001

ఇదే బాణీలో

$(10^{-1})\, x\, (10^{-2}) = \frac{1}{10}\, x \frac{1}{100} = \frac{1}{1000}$ = 0.001

$(10^{9})\, x\, (10^{-2}) = (10^{7})$

ఈ రకం లెక్కలు అలవాటు చేసుకోవడం తప్పనిసరి!!

భౌతిక శాస్త్ర వ్యాసాలు

వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు

2023

భౌతిక శాస్త్ర వ్యాసాలు

ముందుమాట

ఇరవైయవ శతాబ్దం భౌతిక శాస్త్రానికి స్వర్ణయుగం అనవచ్చు. మేక్స్ ప్లాంక్ 1900 లో వేసిన విత్తు మహా వృక్షమై మన జీవితాలనే మార్చి వేసింది. అప్పటి నుండి ఇరవైయవ శతాబ్దం అంతం వరకు శరవేగంతో జరిగిన సంఘటనలని సాధ్యమైనంత తేలిక భాషలో, సాధ్యమైనంత తక్కువ గణిత సమీకరణాలు మాత్రం ఉపయోగించి, ఒక సింహావలోకనం చేసేను. ఈ పుస్తకం చదివి లబ్ధి పొందాలంటే కనీసం ఉన్నత పాఠశాల వరకు తారసపడే గణితం, భౌతిక శాస్త్రం బాగా తెలిసి ఉండాలి, శాస్త్రం తెలుసుకోవాలనే కుతూహలం కుతకుతలాడుతూ ఉండాలి.

తెలుగులో శాస్త్రీయ పదజాలం తక్కువ. ఉన్న కొద్ది మాటలలో కూడా స్థాయికరణ లేదు. ఒకే ఇంగ్లీషు మాటని ఒకొక్కరు ఒకొక్క విధంగా అనువదిస్తూ ఉంటారు. అందుకని నేను వాడిన మాటలకి సమానార్థకాలైన ఇంగ్లీషు మాటలని వెనువెంటనే కుండలీకరణాలలో చూపించేను. పుస్తకం చివర ఈ మాటలన్నిటిని కూడగట్టి, చదువరుల సౌలభ్యం కొరకు, ఆకారాదిక్రమంలో అమర్చేను.

ఈ పుస్తకం లోని అధ్యాయాలని నేను అమర్చిన క్రమంలోనే చదవాలనే నిబంధన ఏదీ లేదు. కానీ ఆధునిక భౌతిక శాస్త్రంతో పరిచయం తక్కువ ఉన్న పాఠకులు నేను సూచించిన క్రమంలో చదివితే విషయం తేలికగా అర్థం అవడానికి అవకాశం ఎక్కువ అవుతుంది.

ఇది పాఠ్య పుస్తకం కాదు. పాఠ్య పుస్తకాలకి అనుబంధం అనుకోవచ్చు. భౌతిక శాస్త్రం లోని ఉన్నత భావాలని, జనరంజన శైలిలో, నలుగురికి అందుబాటుగా ఉండే భాషలో రాసిన ప్రయత్నం ఇది.

అట్ట మీద బొమ్మ వేసినది శ్రీ సాయి బ్రహ్మానందం గొర్తి

వేమూరి వెంకటేశ్వరరావు.
ప్లెజన్టన్, కేలిఫోర్నియా, జూలై 2023

విషయసూచిక

1. భౌతిక శాస్త్రంలో మనం వాడే మాటలు
2. పరమాణువులు, అణువులు, బణువులు
3. అత్యాద వినిపాతం
4. కాంతిని గుళికీకరించడం
5. అణువుని గుళికీకరించడం
6. రేణువులా? తరంగాలా?
7. ష్రోడింగర్ సమీకరణం చెప్పేది ఏమిటి?
8. గతి (ఆర్బిట్) కి విగతి (ఆర్బిటల్) కి మధ్య తేడా ఏమిటి?
9. గుళిక వాదంలో స్పిన్
10. ష్రోడింగర్ పిల్లి
11. అనిర్ధారిత సూత్రం
12. గుళిక వాదం, వేదాంత సారం
13. యంతరపి (ఎంట్రోపి) అంటే ఏమిటి?
14. మెక్స్వెల్ సమీకరణాలు ఏమిటి చెబుతున్నాయి?
15. రేడియేషన్ అంటే భయపడడం ఎంతవరకు సమంజసం?
16. లోహములు, ఆలోహములు
17. డిరాక్ సమీకరణం
18. భౌతికశాస్త్రంలో ప్రభంజనాలు: ఒక సింహావలోకనం
19. సాంకేతిక పదజాలపు జాబితా
20. రచయిత పరిచయం, రచయిత రాసిన తెలుగు పుస్తకాలు

1. భౌతిక శాస్త్రంలో మనం వాడే మాటలు

భౌతిక శాస్త్రంలో మనం నిత్య జీవితంలో వాడుకునే మామూలు మాటలని కొన్నింటిని ప్రత్యేకమైన అర్థాలతో వాడతారు.

1. **పని (work)**

ఉదాహరణకి పని (work) అనే మాటనే తీసుకుందాం. సాధారణ సందర్భాలలో ఇది ఇంటిపని కావచ్చు, కూలిపని కావచ్చు, ఉద్యోగం కావచ్చు. కాని శాస్త్రంలో ఈ మాటకి, తత్సంబంధమైన బలం (force), శక్తి (energy), పాటవం (power), మొదలైన ఇతర మాటలకి నిర్దిష్టమైన శాస్త్రీయ అర్థాలు ఉన్నాయి.

భౌతిక శాస్త్రపు దృష్టిలో ఒక వస్తువు మీద బలం (force) ప్రయోగించినప్పుడు పని (work) జరుగుతుంది. పట్టాల మీద ఉన్న ఒక రైలు పెట్టెకి తాడు కట్టి బలంగా లాగేమనుకుందాం. అప్పుడు మనం ఉపయోగించిన బలం ఎంతో కొలిచి, పెట్టె ఎంత దూరం కదిలిందో కొలిచి, ఈ రెండు కొలతాంశాల (measurements) ని గుణిస్తే, జరిగిన పని ఎంతో తెలుస్తుంది. ఈ పెట్టెని 'బ' అంత విలువ గల బలంతో లాగితే అది 'దూ' అనేంత దూరం కదిలిందని అనుకుందాం. ఇప్పుడు మనం చేసిన పరిశ్రమ వల్ల 'ప' అంత పని (work) జరిగిందని అంటాం. ఇదే విషయాన్ని ఒక గణిత సమీకరణం రూపంలో రాయవచ్చు:

జరిగిన పని = ప్రయోగించిన బలం x కదలిన దూరం

లేదా, టూకీగా

పని = బలం x దూరం (Work = Force x Distance)

లేదా, ఇంకా టూకీగా

ప = బ x దూ (W = F x d)

బలాన్ని కొలవడానికి నూటన్ (Newton) అనే కొలతాంశం (measurement unit) వాడతారు. దూరాన్ని కొలవడానికి మీటరు (meter) అనే కొలతాంశాన్ని వాడతారు. కనుక జరిగిన పనిని సూచించడానికి నూటన్-మీటరు (Newton-meter) అనే కొలతాంశాన్ని వాడతారు. మనం పెట్టె మీద ప్రయోగించిన బలం 50 నూటన్లు అయినప్పుడు, ఆ పెట్టె 5 మీటర్లు కదిలితే జరిగిన పని

50 నూటన్లు x 5 మీటర్లు = 250 నూటన్-మీటర్లు అవుతుంది.

చూశారా! ఇక్కడ పని, బలం, దూరం అనే మాటలు ప్రత్యేకమైన అర్థాలు సంతరించుకున్నాయి. ఈ అర్థాలని పరిస్పుటం చెయ్యటానికి రెండు విషయాలు గమనిద్దాం. ఒకటి, రైలుపెట్టె పట్టాల మీద ఉంది కనుక అది ఒకే ఒక దిశలో కదలగలదు. ఏ దిశలో? పట్టాలు ఉన్న దిశలో. కనుక మనం ఇచ్చే 'లాగుడు' (pull) కూడ అదే దిశలో ఉండాలి. రెండు, ఈ సందర్భంలో జరిగిన పనిని కొలవడానికి ఒక కొలతాంశం (measuring unit) కావలసి ఉంటుంది. ఈ సందర్భంలో మనకి అనుకూలమైన కొలతాంశం పేరు 'నూటన్ మీటరు.' బియ్యాన్ని 'కుంచం'తో కొలిచినట్లే పనిని 'నూటన్ మీటరు' తో కొలుస్తారు. (ఈ 'నూటన్ మీటరు' కి పూర్వం 'జూల్' (Joule) అనే పేరు కూడా ఉండేది. నూటన్ గౌరవార్థం పేరు మార్చేరు తప్ప కొలతలో మార్పు లేదు.) ఒక కిలోగ్రాము గరిమ ఉన్న వస్తువుని ఒక నూటన్ పరిమాణం ఉన్న బలాన్ని ఉపయోగించి ఒక మీటరు దూరం కదిపితే ఒక 'నూటన్ మీటరు,' లేదా ఒక 'జూలు,' పని జరుగుతుంది. కదలిక లేకపోతే పని జరగదు. పని జరగాలంటే బలం ఉపయోగించి కదలిక చూపించాలి.

ఉదా 1: ఒక వ్యక్తి కోపంగా గోడని గుద్దేడు. ఇప్పుడు పని జరిగిందా? లేదు. ఇక్కడ పని జరగాలంటే గోడ కదలాలి. కదలిక లేకపోతే పని జరగలేదన్నమాట! కనుక గోడని గుద్దడం వల్ల చెయ్యి విరిగిందేమో కానీ, పని జరగలేదు.

ఉదా 2: అలమారులోఉన్న పుస్తకం కింద పడింది. ఇక్కడ పుస్తకం కదిలింది కనుక పని జరిగింది. పుస్తకం మీద గురుత్వాకర్షక బలం పడింది కనుక పుస్తకం కదిలింది.

The joule (J) is a unit of *work* in the SI system. The commonly used units for work done are newton-meters (N-m), watt-seconds (W-s), or ergs. 1 joule = 1 kg-m^2/sec^2

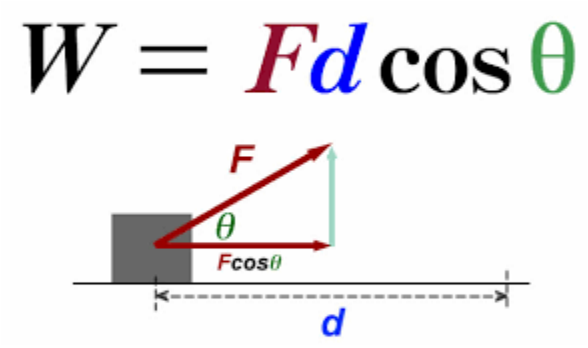
The newton (N) is a unit of *force* in the SI system. It is the force necessary to accelerate a mass of one kilogram (kg) by one meter per second per second (m/sec^2). 1 newton = 1 kg-m/sec^2

Multiply force by distance (over which that force is applied) and you get work or energy.

ఇప్పుడు మనం పెట్టెకి కట్టిన తాడుని రైలు పట్టాలకి సమాంతరంగా కాకుండా కొంచెం ఏటవాలుగా, θ డిగ్రీలు ఉండేలా, పట్టుకుని ఇందాకటి బలం (F) తోటే లాగేమనుకుందాం. అప్పుడు, నిజానికి రైలు పెట్టె మీద పడే బలం (F cos θ) ప్రాప్తికే ఉంటుంది కనుక ఇప్పుడు జరిగిన పని (బొమ్మ చూడండి):

ప = బ x దూ x cos θ (W = F x d x cos θ)

ఇక్కడ బొమ్మని చూస్తే F cos θ విలువ F విలువ కంటే తక్కువ అని అర్థం అవుతోంది కదా! (cos θ విలువ ఎల్లప్పుడూ 0 కి 1 కి మధ్యస్థంగానే ఉంటుంది.) కొన్ని ఉదాహరణలు చూద్దాం.



బొమ్మ. జరిగిన పని = వాడిన బలం x కదలిన దూరం

ఉదా 1: ఒక వ్యక్తి కోపంగా గోడని గుద్దేడు. ఇప్పుడు పని జరిగిందా? లేదు. ఇక్కడ పని జరగాలంటే గోడ కదలాలి. కదలిక లేకపోతే పని జరగలేదన్నమాట! కనుక గోడని గుద్దడం వల్ల చెయ్యి విరిగిందేమో కానీ, పని జరగలేదు.

ఉదా 2: అలమారులోఉన్న పుస్తకం కింద పడింది. ఇక్కడ పుస్తకం కదిలింది కనుక పని జరిగింది. పుస్తకం మీద గురుత్వాకర్షక బలం పడింది కనుక పుస్తకం కదిలింది.

2. బలం (force)

ఇప్పుడు ఫోర్స్ (force) అన్న మాట సంగతి చూద్దాం. ఫోర్స్ (force) అన్న మాటకి బలం అన్న మాటని సమానార్థకంగా వాడేము కనుక గురుత్వాకర్షక బలం అంటే gravitational force, విద్యుదయస్కాంత బలం అంటే electromagnetic force.

ఉదా 3. భీముడు 200 నూటన్ల బలం (force) ఉపయోగించి ఒక పెట్టెని మూడు అంతస్తులు (లేదా 10 మీటర్లు ఎత్తుకి) మోసుకు వెళ్లి అక్కడ నుండి 50 నూటన్లు బలం ఉపయోగించి 35 మీటర్లు దూరం (0.5 మీ/సెకండు చొప్పున) తోసుకు వెళ్ళేడు. భీముడు ఎంత పని (work) చేసేడు?

- పెట్టెని నిట్టనిలువుగా 10 మీటర్లు పైకి ఎత్తడానికి చేసిన పని = 200 నూటన్లు x 10 మీటర్లు x cos (0) = 2,000 నూటన్-మీటర్లు
- పెట్టెని అడ్డుగా 35 మీటర్లు దూరం తొయ్యడానికి చేసిన పని = 50 నూటన్లు x 35 మీటర్లు x cos (0) = 1,750 నూటన్-మీటర్లు
- మొత్తం పని = 2000 + 1750 = 3,750 నూటన్-మీటర్లు
- ఇక్కడ 0.5 మీ/సెకండు చొప్పున అనే అంశం ఉపయోగించవలసిన అవసరం రాలేదు.
- ఇక్కడ θ = 0 అయింది. ఎందుకంటే బలం ప్రయోగించిన దిశలోనే పెట్టె కదిలింది కనుక వాటి మధ్య కోణం విలువ 0. కనుక cos (0) = 1.

3. శక్తి (energy)

ఆధునిక భౌతిక శాస్త్రంలో ‘ఎనర్జీ’ (energy) అనే ఇంగ్లీషు మాటకి శక్తి అని తెలుగులో అర్థం చెప్పుకోవచ్చు. ‘ఎనర్జీ’ అన్న మాట ergos అనే గ్రీకు పదం నుండి పుట్టింది. ‘ఎనర్జీ’ అన్న మాట 1807లో వాడుకలోకి వచ్చింది. ‘ఎనర్జీ’ లేదా శక్తి అంటే పని చెయ్యగలిగే ఓపిక, సమర్థత లేక స్థోమత; పని ఎక్కువ సేపు చెయ్యాలంటే ఎక్కువ ఓపిక ఉండాలి. శక్తి (ఓపిక) అనేది ఎంత పని చేసేం, ఎంత సేపు చేసేం అన్న విషయాలని కొలుస్తుంది.

శక్తి = పని x కాలం (Energy = Work x Time)

శక్తిని కొలవడానికి జూల్ అనే కొలతాంశాన్ని వాడతారు. శక్తిని కొలవడానికి ఇంకా అనేక కొలతాంశాలు వాడతారు కానీ, ప్రస్తుతానికి జూల్ (Joule) తో సరిపెట్టుకుందాం. పని యొక్క కొలమానం నూటన్-మీటరు కదా! కనుక ఒక నూటన్-మీటరు పనితో ఒక మీటరు దూరం కదిలితే అది ఒక జూల్ శక్తి అవుతుంది.

సెకండు ఒక్కంటికి ఒక జూల్ శక్తి ఖర్చు అయితే దానిని వాట్ (Watt) అంటారు. కాలం కొలమానం సెకండు కనుక శక్తి కొలమానం వాట్-సెకండు అవుతుంది. పని గంట (hour) సేపు జరిగితే శక్తి వాట్-అవర్ అవుతుంది. మన ఇళ్లల్లో ఉండే విద్యుత్ దీపపు బుడ్డి మీద 100 W అని ఉంటే అది 100 వాట్ల బుడ్డి. ఇది 10 గంటలు వెలిగితే ఖర్చు అయిన విద్యుత్ శక్తి విలువ 1000 వాట్-అవర్ లు. దీనినే మనం “యూనిట్” అంటాం. ఇది 3.6 జూలులు తో సమానం. (1 Watt-hour = 3.6 Joules.)

- టీవీ కానీ, కంప్యూటరు కానీ 6 గంటలు వాడితే ఉరమరగా 1 యూనిట్ ఖర్చు అవుతుంది.
- బట్టలు ఉతికే యంత్రం, గిన్నెలు కడిగే యంత్రం 1 గంట వాడితే ఉరమరగా 1 యూనిట్ ఖర్చు అవుతుంది.
- స్నానం చెయ్యడానికి తొందరగా వేడి నీళ్లు సరఫరా చేసే యంత్రం 10 నిముషాలు వాడితే ఉరమరగా 1 యూనిట్ ఖర్చు అవుతుంది.

4. పాటవం (power)

పవర్ (power) ని పాటవం అని పిలవచ్చు. పని ఎంత జోరుగా జరుగుతోందో చెబుతుంది ఇది. పాటవాన్ని కొలవడానికి వాట్ (Watt) అనే కొలతాంశం వాడతారు. పూర్వం “అశ్వ పాటవం” (horse power) అనే కొలతాంశం వాడేవారు. ఈ రోజుల్లో మనం తోలే కార్లు ఒక స్థిరమైన వేగంతో నడుస్తూన్నప్పుడు సుమారు 20 అశ్వపాటవాలు ఉపయోగిస్తాయి. ఎదట ఉన్న కారుని దాటుకుని ముందుకి జోరుగా దూసుకు వెళ్లవలసి వచ్చినప్పుడు కారు త్వరణాన్ని జోరుగా పెంచాలి కనుక ఆ సమయంలో 100 అశ్వపాటవాలు కావలసి ఉంటుంది.

పని తొందరగా జరగాలంటే శక్తి తొందరగా లభించాలి. ఒక మనిషి కాని, యంత్రం కాని ఒక సెకండులో ఎంత శక్తిని విడుదల చెయ్యగలదో దానిని బట్టి ఆ శాల్తీ ఆ పనిని ఎంత తొందరగా చెయ్యగలదో తెలుస్తుంది. ఈ లక్షణాన్ని పాటవం (power) అందాం.

పాటవం = పని÷కాలం (Power = Work ÷ Time)

విద్యుత్ దీపాల పాటవం ఇన్ని వాట్లు అని చెబుతాము కదా. అరవై వాట్లు పాటవం ఉన్న బుడ్డి 30 రోజులు వెలిగితే మనం ఎంత విద్యుత్తు ఖర్చు పెట్టినట్లు?

60 వాట్లు x 30 రోజులు x 24 గంటలు/రోజుకి   = 43,200 వాట్-గంటలు = 43.2 కిలో వాట్-గంటలు
(వీటినే మన దేశంలో యూనిట్లు అంటాం.)

మరొక కోణంలో, పని = బలం x కదలిన దూరం. కనుక
పాటవం = (బలం x కదలిన దూరం)÷కాలం
(Power = Force x displacement) ÷ Time
కనుక, పాటవం = (బలం) x (కదలిన దూరం ÷కాలం) = బలం x వేగం
కదలిన దూరంని స్థానభ్రంశము అని కూడా అంటారు.
ఒక యంత్రం ఎక్కువ పాటవంతో పని చేసున్నాదని అంటే ఆ యంతానికి బలం, వేగం రెండూ ఉన్నాయన్నమాట.

5. సత్వం (strength)

భౌతిక శాస్త్రంలో బలం అంటే force అని నిర్ధారించేము కనుక strength కి మనం మరొక మాట వెతుక్కోవాలి. భౌతిక శాస్త్రంలో strength అంటే బల ప్రయోగం జరిగినప్పుడు ఉన్న ఆకారం చెదిరిపోకుండా నిలబెట్టుకోగలిగే స్థోమత. బల ప్రయోగం అంటే గట్టిగా నొక్కి గుండ-పిండి చెయ్యడం కావచ్చు లేదా సాగదియ్యడం కావచ్చు. ఈ భావానికి, ప్రస్తుతానికి, సత్వం, సత్తువ, త్రాణ, దిట్టతనం వంటి మాటలని వాడి చూద్దాం.

నీతి: ఈ కథనం నీతి ఏమిటి? మనం దైనందినం వాడుకునే సామాన్యమైన మాటలకి శాస్త్రంలో నిర్దిష్టమైన అర్థం ఉండొచ్చు. ఆ శాస్త్రీయ అర్థానికి వాడుకలో ఉన్న అర్థానికి మధ్య తేడా ఉండొచ్చు.

6. ఘాతీయ సంకేతనం (Exponential Notation)

ఆధునిక శాస్త్రీయ రంగంలో అతి పెద్ద సంఖ్యలు, అతి చిన్న సంఖ్యలు తారసపడడం సర్వసాధారణం. ఇటువంటి సంఖ్యలని క్లుప్తంగా రాయడానికి వాడే పద్ధతిని శాస్త్రీయ సంకేతనం (scientific notation) అంటారు. అటువంటి సంకేతనాలలో ఒకటైన ఘాతీయ సంకేతనం (exponential notation) ని ఇక్కడ పరిచయం చేస్తాను.

10 = 10^1 = పది

1, 000, 000 = 10^6 = మిలియన్

1, 000, 000, 000 = 10^9 = బిలియన్

వగైరా. ఇక్కడ 10 నెత్తి మీద కనిపిస్తూన్న 1, 6, 9, వగైరాలని ఘాతం (exponent) అంటారు.

ఉదాహరణకి 1 తరువాత 20 సున్నలు ఉన్న సంఖ్యని 10^{20} అని రాస్తారు.

ఇదే బాణీలో

$10^{-1} = \frac{1}{10} = 0.1$

$10^{-2} = \frac{1}{100} = 0.01$

$10^{-6} = \frac{1}{1\,000\,000} = 0.000\,001$

ఇదే బాణీలో

$(10^{-1})\, x\, (10^{-2}) = \frac{1}{10}\, x\, \frac{1}{100} = \frac{1}{1000} = 0.001$

$(10^{9})\, x\, (10^{-2}) = (10^{7})$

ఈ రకం లెక్కలు అలవాటు చేసుకోవడం తప్పనిసరి!!

2. పరమాణువులు, అణువులు, బణువులు

1. పరమాణువులు నుండి బృహత్ బణువులు దాకా

గ్రీకు భాషలో “అ” అనే పూర్వప్రత్యయం ‘కానిది’ అనే అర్థాన్ని ఇస్తుంది; సంస్కృతంలో అశుభ్రం అంటే ‘శుభ్రం కానిది’ అయినట్లు.

గ్రీకు భాషలో “తోమోస్” అంటే ‘కత్తిరించు’ అనే అర్థం వస్తుంది. దీని ముందు “అ” అనే ప్రత్యయం చేర్చగా వచ్చిన మాట “అతోమోస్” - అంటే కత్తిరించడానికి వీలు కానిది లేదా అవిభాజ్యం అని అర్థం. ఇందులోంచి వచ్చిన “ఏటం” (atom) అంటే విభజించడానికి వీలు పడనంత చిన్న పదార్థం అని అర్థం.

గ్రీకు, సంస్కృతం జ్ఞాతి భాషలు. సంస్కృతంలో ఈ రెండు మాటలని పోలిన మాట “ఆత్మ.” ఈ ఆత్మ స్వభావం ఎటువంటిదో ఋగ్వేదంలో వచ్చే నారాయణ సూక్తం ఇలా చెబుతుంది:

“నీవారశూకవత్తన్వీ పీతా భాస్వత్యణూపమా | తస్యా”ః శిఖాయా మధ్యే పరమాత్మా వ్యవస్థితః”

అంటే, ఆత్మ అణు ప్రమాణంలో, మన హృదయ పీఠంలో వ్యవస్థితమై ఉంటుందని చెబుతోంది. ఈ వేద మంత్రాన్ని బట్టి అణువు అనే మాట వేదంలో ఉండడమే కాకుండా ఆత్మకి అణువుకి ఏదో అవినాభావ సంబంధం ఉన్నట్లు అనిపిస్తోంది కదా!

భగవద్గీత ఏమంటోంది?

“నైనం ఛిన్దన్తి శస్త్రాణి, నైనం దహతి పావకా”

అనగా, (అణుప్రమాణంలో ఉన్న) ఈ ఆత్మని కత్తితో కొయ్యలేము, మంటలో వేసి కాల్చలేము.

“అణోరణీయాన్ మహతో మహీయాన్

ఆత్మాస్య జంతోర్నిహితం గుహాయామ్

తమక్రతుః పశ్యతి, వీతశోకో,

ధాతుః ప్రసాదాన్ మహిమానమాత్మనః”

సూక్ష్మాతి సూక్ష్మమైనది, అణువుకంటె చిన్నది, బ్రహ్మాండము కంటె ఘనమైనదీ, అయిన ఆత్మ ప్రాణుల హృదయాలలోనే యున్నది.

ఆధునిక శాస్త్రంలో “ఏటం” అన్న ఇంగ్లీషు మాటకి డాల్టన్ (John Dalton, 1766-1844) ఇచ్చిన నిర్వచనం కూడ ఇదే కనుక అణుప్రమాణంలో ఉన్న ఆత్మకి అణువుకి మధ్య ఉన్న పోలికని బట్టి “ఏటం” కి అణువు సమానార్థకమైన తెలుగు మాట అని మనం నిర్ధారించవచ్చు.

పోతే, వాడుకలో చూద్దాం. మీరు ఎప్పుడైనా “పరమాణు బాంబు” అనే ప్రయోగం విన్నారా? Atom Bomb అంటే అణు బాంబే! మీరు ఎక్కడైనా “పరమాణు శక్తి” అనే ప్రయోగం చేసేరా? “అణు శక్తి” అంటే Atomic Energy. వాడుకలో మనం అణువుకీ, పరమాణువుకి మధ్య తేడాని గమనించడం లేదని మనవి చేసుకుంటున్నాను. ప్రాచీన కాలం నుండి మన సంప్రదాయంలో అణువు అంటే atom! పరమాణువు అంటే అణువులో అంతర్భాగం.

Atom ని అణువు అనాలనిన్నీ, molecule ని బణువు అనాలనిన్నీ 1969 లో తెలుగు భాషా పత్రికలో ఒకరు ప్రతిపాదించేరు. నేను అప్పటి నుండి అదే వాడుతున్నాను. నా వాడుకలో mega molecule = బృహత్ బణువు (ఉ. రబ్బరు, హిమోగ్లోబిన్), molecule = బణువు (ఉ. మెతేన్, ఎతేన్,), atom = అణువు (ఉ. ఉదజని, ఆమ్లజని) subatomic particle = పరమాణువు (ఉ. ఎలక్ట్రాన్, ప్రోటాన్) అవుతాయి.

2. అణు వాదం

సా. శ 1808 లో, బ్రిటిష్ వాడైన జాన్ డాల్టన్ ఏమన్నాడు? ప్రతి రసాయన మూలకానికి తనదైన ఒక సూక్ష్మాతి సూక్ష్మమైన (అనగా, విభజించడానికి వీలు కాని) అణు (atom) రూపం ఉంటుందనిన్నీ, ఈ స్థూల ప్రపంచంలో మనకి తారసపడే ప్రతి వస్తువు ఈ అణువులు సమ్మేళనమే అని అభివర్ణించేడు.

మన సంప్రదాయంలో కాణాదుడు దరిదాపు ఇదే భావాన్ని శతాబ్దాలకి ముందే ప్రవేశ పెట్టేడు. పైపెచ్చు కణాదుడు ద్వియాణువు, త్రయాణువు అని అణువుల గుంపులకి పేర్లు పెట్టేడు. అనగా, నేటి బణువు (molecule) అనే భావానికి అంకురార్పణ చేసేడు. కాణాదుడు తరువాత మన దేశంలో ఈ బాణీలో ఆలోచన కొనసాగించినవారు లేకపోయారు.

3. అణువు నిర్మాణ శిల్పం

సా. శ 1896 లో, యూరోప్ లో, హెన్రి బెక్విరల్, మరీ క్యూరీ, పియేర్ క్యూరీ ప్రకృతి సిద్ధంగా జరిగే "రేడియో ధర్మం" అనే ప్రక్రియని అధ్యయనం చేస్తూ "కత్తిరించడానికి కూడా వీలు పడని సూక్ష్మాతి సూక్ష్మమైన అణు రూపం" అని మనం అభివర్ణిస్తున్న అణువు లోపల అంతర్గతమైన నిర్మాణశిల్పం ఉందనే భావానికి పునాదులు వేసేరు.

సా. శ 1897 లో, బ్రిటన్ లో, కేథోడ్ కిరణాల మీద పరిశోధన చేస్తున్న జె. జె. థాంసన్ ఏమన్నాడంటే కేథోడ్ కిరణాలు నిజానికి విద్యుత్ తత్త్వం పూనిన, ఉదజని అణువు కంటే చిన్నవయిన, రేణువులు అన్నాడు. ఈ రేణువులకి తరువాత "ఎలాక్^ట్రానులు" (electrons) అని పేరు పెట్టేరు. అనగా అణువులో "ఎలక్ట్రానులు" అనే రేణువులు ఉన్నాయి! అణువుని కత్తిరించి లోపల చూడవచ్చున్నమాట! ఇటువంటి రేణువులని మనం పరమాణువులు అందాం. అణుగర్భంలో ఇంకేమి రేణువులు ఉన్నాయో?

4. గుళిక వాదం (Quantum Theory)

ఇది ఇలా ఉండగా, మరొక సందర్భంలో, జెర్మనీలో, మాక్స్ ప్లాంక్ అనే పరిశోధకుడు ఒక రకం ఇబ్బందిలో పడ్డాడు. నల్లటి ఇనప కడ్డీని వేడి చేస్తే ముందు ఎర్రగాను, ఇంకా వేడి చేస్తే తెల్లగాను అవుతుంది. ఇది మనందరికీ తెలిసిన విషయమే. కానీ "చల్లగా ఉన్నప్పుడు నల్లగా ఉన్న కడ్డీ వేడెక్కుతున్నకొద్దీ ఎందుకు రంగు మారుతుంది?" ఈ రకం ప్రశ్న మనలాంటి సామాన్యులు అడగరు. కానీ మాక్స్ ప్లాంక్ అడిగేడు. ప్రయోగాలు చేసి చూసేడు. మంటలో ఉన్న శక్తి (energy) "ఎడతెగని నదీ ప్రవాహంలా" కొలిమి నుండి కడ్డీ లోకి ప్రహిస్తుంది అని అనుకున్నంతసేపూ ఆయనకి సంతృప్తికరమైన సమాధానం దొరకలేదు. కాని, కొలిమి నుండి వేడి కడ్డీ లోకి "వాన చినుకులులా, బొట్లు బొట్లుగా," ప్రవహిస్తోంది అని అనుకుంటే ప్రయోగానికి, వాదానికి మధ్య పొత్తు కుదురుతోంది. ప్రత్యక్ష ప్రమాణానిదే పైచేయి కనుక - అయిష్టంగానే - ఉష్ణ శక్తి ధారలా ప్రవహించదు, బొట్లు బొట్లు గానే ప్రవహిస్తుంది అని, సా. శ 1900 నాటికి అందరూ ఒప్పుకోక తప్పలేదు. అనగా ఉష్ణ శక్తి నిజ స్వరూపం బొట్లు, బొట్లుగా, గుళికలలా, ఉంటుంది (heat energy is quantized).

సా. శ 1905 లో అయిన్^స్టయిన్ "ఫోటో ఎలక్ట్రిక్ ప్రభావం" వెనక ఉన్న భౌతిక ప్రక్రియని

వర్ణించిన సందర్భంలో కాంతి రూపంలో ఉన్న శక్తి నిజ స్వరూపం కూడా గుళికలలానే ఉంటుంది అని తేలిపోయింది (light energy is also quantized). గుళిక వాదం (quantum theory) కి పునాదులు పడుతున్నాయి.

ఇది ఇలా ఉండగా, బ్రిటన్ లో, ఎర్నస్ట్ రూథర్^ఫోర్డ్ పల్చటి బంగారపు రేకుని జోరుగా ప్రవహిస్తున్న "ఆల్ఫా" కణాలు (అనగా, రవిజని అణువుల కణికలు) తో బాదేడు. ధన విద్యుదావేశం ఉన్న ఈ కణాలు, ఏ ఒక్కటీ కూడా, అణు గర్భం గుండా పోకుండా, ఎల్లప్పుడూ పక్కకి తప్పించుకునే ప్రయాణం చేసేయి. ఈ లక్షణాన్ని ఆధారంగా చేసుకుని అణు గర్భంలో కూడా ఏదో ధన విద్యుదావేశం ఉన్న పదార్థం ఉందని 1911 లో తీర్మానానికి వచ్చేడు. (ఒకే రకమైన విద్యుదావేశాలు వికర్షించుకుంటాయి కనుక!) తరువాత అణు గర్భంలో ఉన్న ధన విద్యుదావేశపు పదార్థం (దీన్ని కణిక, nucleus అందాం) తప్ప మిగిలినది అంతా ఖాళీయే అని తీర్మానించేరు. అదే నిజం అయితే ఎలక్ట్రానులు కణిక బయట ఎక్కడో ఉండాలి. ఎలా ఉండాలి? కదలకుండా ఎక్కడో ఒక చోట తిష్ట వేసుకుని కూర్చోవడానికి వీలు లేదు; అలా తిష్ట వేస్తే కణికలో ఉన్న ధన విద్యుదావేశం ఎలక్ట్రానులని ఆకర్షించగా అవి కణికలో పడిపోతాయి. అవి అలా పడి ఉన్నట్లయితే ఎలక్^ట్రానుల లోని ఋణ ఆవేశం కణిక లోని ధన ఆవేశంతో కలిసి ఒకదానిని మరొకటి నాశనం చేసేసుకుంటాయి కనుక అణువు నాశనం అయిపోవాలి. అలా అవడం లేదు. అలా కాకపోతే, ఎలక్ట్రానులు ప్రదక్షిణాలు చేస్తూ ఉండాలి. అదే నిజం అయితే ప్రదక్షిణాలు చేసే ఎలక్^ట్రానులకి త్వరణం (acceleration) ఉంటుంది. త్వరణం ఉన్న ఎలక్ట్రానులు తమ శక్తిని విద్యుదయస్కాంత వికిరణాల రూపంలో క్రమేపి కోల్పోయి, సర్పిలా కారపు కక్ష్యలో పడి, క్రమేపీ మధ్యలో ఉన్న కణికలో పడిపోవాలి. అప్పుడు కూడా అణువు నాశనం అయిపోవాలి. అదీ జరగడం లేదు!

పచ్చి వెలక్కాయలా గొంతుకకి అడ్డం పడ్డ ఈ చిక్కు సమస్యని డెన్మార్క్ దేశస్థుడు నీల్స్ బోర్, 1913 లో, పరిష్కరించేడు. ఈయన ఏమన్నాడంటే ఎలక్ట్రానుల ప్రవర్తనని కూడా గుళికీకరించాలన్నాడు. అంటే? ఎలక్ట్రానులు కణిక చుట్టూ - సూర్యుడి చుట్టూ గ్రహాలు తిరుగుతున్నట్లు - ఎప్పుడూ ఏదో ఒక నిర్దేశించిన కక్ష్య లోనే తిరగాలి తప్ప తమ ఇష్టం వచ్చినట్లు తిరగకూడదు. అవి అలా నిర్దేశించిన కక్ష్యలో తిరుగుతున్నంతసేపు ఎలక్ట్రానులకి త్వరణం (acceleration) ఉన్నప్పటికీ అవి తమ శక్తిని విద్యుదయస్కాంత వికిరణాల రూపంలో క్రమేపి కోల్పోవు. ఎలక్ట్రానులు ఒక కక్ష్య నుండి మరొక కక్ష్య లోకి వెళ్ళవలసి వస్తే గభీ మని "గుళిక గెంతు" (quantum jump) వేయ వచ్చు కానీ నెమ్మదిగా "జరుగుతూ" సర్పిలా కారపు కక్ష్యలో వెళ్ళకూడదు. బోర్ ఇలా ఆంక్షలు విధించడానికి ప్రత్యేకమైన కారణాలు అంటూ ఏవీ లేవు; కానీ, ఈ నియమాలు పాటిస్తే ఈ నమూనాకి, ప్రయోగానికి మధ్య

పొంతన కుదురుతోంది. కనుక ఎలక్ట్రానులు ప్రదక్షిణం చేసే కక్ష్యలని కూడా గుళికీకరించాలి (quantization of electron orbits) అని తీర్మానించేరు.

దరిమిలా అణు గర్భంలో రెండు రకాల రేణువులు (particles) ఉన్నాయని తెలిసింది. ఒకటి, ఇందాక తారసపడ్డ, ధనావేశంతో ఉన్న ప్రోటాను. ఇది కాకుండా ఏ రకమైన ఆవేశం లేకుండా తటస్థంగా ఉండే నూట్రాను అనే రేణువు కూడా ఉందని కనుక్కున్నారు. దీనితో ఛేదించడానికి వీలు పడదనుకున్న అణువులో మూడు రకాల రేణువులు ఉన్నాయని తేలింది. వీటిని పరమాణువులు (subatomic particles) అందాం.

అణు పరిశోధనలో ఈ గుళిక వాదం నెమ్మదిగా తలెత్తున్న తరుణంలో జెర్మనీలో హైజెన్^బర్గ్ అనే అయన, 1927 లో, ఒక మెలిక వేసేడు. ఈయన అన్నది ఏమిటంటే అణు ప్రపంచంలో ఒక రేణువు ఒక సమయంలో ఎక్కడ ఉందో నిర్ధారించి చెప్పగలిగితే అదే సమయంలో అది ఎంత జోరుగా ప్రయాణం చేస్తున్నాదో చెప్పడం అసంభవం. అలాగే, ఒక రేణువు, ఒక సమయంలో, ఎంత జోరుగా ప్రయాణం చేస్తున్నాదో చెప్పగలిగితే అదే సమయంలో అది ఎక్కడ ఉందో నిర్ధారించి చెప్పడం అసంభవం. కష్టం కాదు, అసంభవం! అలాగే పౌలి (Pauli) సూత్రం ప్రకారం ఒకే లక్షణాలు కల రెండు ఎలక్ట్రానులు ఒకే చోట ఉండలేవు. అనగా ఒకే రకమైన కత్తులు రెండు ఒకే ఒరలో ఇమడవు. ఇలా గుళిక సిద్ధాంతం పెరుగుతూ వచ్చింది.

ఎప్పుడో శతాబ్దాల క్రితం కాణాదుడు వేసిన విత్తు భారతదేశంలో పోషణ లేక మరుగున పడిపోయినా ఇటీవలి కాలంలో పాశ్చాత్య ప్రపంచంలో అదే భావం తిరిగి తలెత్తి వటవృక్షంలా పెరిగి మన జీవన శైలినే మార్చి వేసింది.

3. అత్యూద వినిపాతం

సనాతన భౌతిక శాస్త్రంలో వచ్చిన పెను మళుపులు గురించి ఈ ప్రస్తావన జరుగుతోంది కదా!

ఇలా మళుపు తిప్పిన మొదటి ప్రయోగం గురించి ఇప్పుడు తెలుసుకుందాం. ఇక్కడ ఒక మాట. ఈ ప్రయోగాలన్నీ పందొమ్మిది-ఇరవై శతాబ్దాల సంధి యుగంలో జరిగాయన్న విషయం మరిచిపోవద్దు. ఇప్పటి విజ్ఞాన సంపదతో వెనక్కి తిరిగి చూస్తే ఈ విషయాలన్నీ ఇప్పుడు సుపరిచితాలలాగే కనిపించవచ్చు. భౌతిక శాస్త్రంలో ఒకొక్కరు, ఒకొక్క శాఖలో పరిశోధన చేస్తూ, పరస్పర అవగాహన లేక తిప్పలు పడ్డ రోజులు అవి అని మరచిపోకండి.

ఇది తాపగతిశాస్త్రం (thermodynamics) కి సంబంధించిన ప్రయోగం. గ్రీకు భాషలో therme అంటే వేడి, dynamis అంటే శక్తి. వేడికి, శక్తికి ఉన్న సంబంధాన్ని అధ్యయనం చేసే శాఖ ఇది. మరొక కోణం నుండి చూస్తే శక్తి తన నిజ రూపం నుండి వేడి రూపం లోకి మరేటప్పుడు జరిగే ప్రక్రియలని అర్థం చేసుకోవటానికి ఇక్కడ ప్రయత్నం జరుగుతుంది. వేడి (heat), పని (work) అనేవి శక్తికి రూపాంతరాలే కనుక వేడిగా మరుగుతూన్న నీటి నుండి వచ్చే ఆవిరితో ఎలా పని చేయించుకోవటమా అనే ప్రశ్న ఉదయించినప్పుడు ఈ శాఖలో పరిజ్ఞానం ఉపయోగపడుతుంది. అందుకనే కాబోలు ఆవిరి యంత్రాలు వాడుకలోకి వచ్చిన రోజులలోనే ఈ శాఖకి విత్తులు పడ్డాయి.

1 కర్రికాయ (blackbody) నమూనా

తాపగతిశాస్త్రం కొంచెం క్లిష్టమయిన అధ్యయనాంశమే. ఈ శాస్త్రాన్ని ప్రయోగాత్మకంగా పరిశోధించాలంటే కాగులో నీళ్ళు పోసి, వేడి చేసి, ఆ ఆవిరితో పని చేయించి, ఆ వేడిని, ఆ చేసిన పనిని కొలిచి ప్రయోగాలు చెయ్యవచ్చు. కాని కాగులు, గంగాళాలు ఉపయోగించి ప్రయోగాలు చెయ్యటం కష్టం. అందుకని శాస్త్రవేత్తలు చిన్న చిన్న నమూనాలతో పనిచేస్తారు. తాపగతిశాస్త్రంలో ఈ రకం నమూనాలలో అగ్రగణ్యమైనది “కర్రికాయ” (blackbody). ఇది కేవలం నమూనా మాత్రమే. మన దైనందిన జీవితాలలో కర్రికాయని పోలిన వస్తువులని చూస్తూనే ఉంటాం. ఉదాహరణకి కొలిమిలో ఇనపకడ్డీని పెట్టి వేడి చేసినప్పుడు అది - ముమ్మూర్తులా కాకపోయినా - కొంతవరకు “కర్రికాయ” ని పోలి ఉంటుంది.

నిర్వచనం ప్రకారం ఈ కర్రికాయ అన్ని రంగుల కాంతి కిరణాలని సమదృష్టితో పీల్చుకుంటుంది, అదే సమదృష్టితో వెలిగక్కుతుంది. నిజానికి కర్రికాయ ఎల్లప్పుడూ నల్లగా ఉండాలని నియమం లేదు. ఈ కర్రికాయ సున్న డిగ్రీల ఉష్ణోగ్రత (కెల్విన్ కొలమానంలో) దగ్గర నల్లగా ఉంటుంది. కాయ ఉష్ణోగ్రత పెరిగేకొద్దీ దీని రంగు మారుతుంది. గది ఉష్ణోగ్రత దగ్గర (300 డిగ్రీలు కెల్విన్ దగ్గర) కర్రికాయ పరారుణ (infrared, > 1000 nm) రంగుతో ప్రకాశిస్తుంది. మనం చీకటిలో ఒకరికి మరొకరం కనిపించక పోవడానికి కారణం మన శరీరపు ఉష్ణోగ్రత చాలినంత ఎక్కువ లేకపోవడమే! కొన్ని వందల డిగ్రీల వేడి

చేరుకునేసరికి కర్రికాయ కంటికి కనిపించే కాంతి (visible light) తో – అంటే ముందు ఎరుపు (తరంగం పొడుగు = 700 nm), ఆ తరువాత నారింజ (తరంగం పొడుగు = 620 nm), పసుపు (580 nm), నీలం (470 nm) రంగులతో - ప్రకాశిస్తుంది. ముఖ్యమైన విషయం ఏమిటంటే కర్రికాయ వేడి ఎంత ఉన్నప్పటికీ, అది వెలిగక్కే వికిరణంలో అన్ని రంగుల తరంగాలూ ఉంటాయి; వాటి పాళ్ళు మారొచ్చు గాక.

నిజానికి మన సూర్యగోళం కూడా కర్రికాయకి ఉదాహరణే! ఎందుకంటే సూర్యగోళం నుండి అన్ని రంగుల కిరణాలూ బయటకు వస్తున్నాయి కనుక!! (వేడితో తన రంగుని మార్చుకునే ఈ కర్రికాయని blackbody అనటం ఏమి సమంజసంగా ఉందో పాఠకులే నిర్ణయించగలరు. కాని కర్మ వశాత్తూ ఆ పేరు అలా స్థిరపడి పోయింది.) కర్రికాయ బాగా వేడెక్కిన వేళకి అది వెలిగక్కే వెలుగులో చాలమట్టుకి అత్యూద (ultraviolet) కిరణాలు కూడ ఉంటాయి. వీటి తరంగదైర్ఘ్యం 10 - 400 నేనోమీటర్లు ఉంటుంది. (నేనోమీటరు అంటే మీటరులో 1,000,000,000 వ వంతు.)

2 చిన్న ఉపాఖ్యానం: తరంగాల లక్షణాలు

ఇప్పుడు ఒక చిన్న ఉపాఖ్యానం. వీణ వాయించి సప్తస్వరాలు పుట్టించినప్పుడు ప్రతి స్వరానికి వీణ తీగ కంపించే జోరుకీ సంబంధం ఉంటుందని మనందరికీ తెలుసు. తీగ కంపించినప్పుడు పుట్టే శబ్దానికి రెండు లక్షణాలు ఉంటాయి. ఒకటి, జోరు లేదా తరచుదనం (frequency); ఇదే స్వరాన్ని నిర్ణయిస్తుంది. రెండవది బిగ్గతనం (loudness). తీగని ఎక్కువగా పైకి లాగితే దాని డోలన పరిమితి (amplitude) పెరుగుతుంది; మనకి శబ్దం బిగ్గరగా వినిపిస్తుంది. తీగ పొడుగు అది ప్రకంపించే జోరుని (అంటే స్వరాన్ని) నిర్ణయిస్తుంది. ఫిడేలు తీగని వేలితో నొక్కినప్పుడు దాని పొడుగు మారుతుంది కనుక మనకి వినిపించే స్వరం మారుతుంది.

శబ్ద తరంగాలకీ, విద్యుదయస్కాంత తరంగాలకీ మౌలికమైన తేడాలు ఉన్నప్పటికీ, అన్ని తరంగాలకీ డోలన పరిమితి (amplitude), తరచుదనం (frequency), కళ (phase) అనే మూడు మౌలిక లక్షణాలు ఉంటాయి. తరంగాలని వర్ణించేటప్పుడు మరొక భావం వాడతారు: తరంగదైర్ఘ్యం (wavelength). ఒక అల శిఖ (crest) నుండి పక్కనున్న శిఖకి కాని, గర్త (trough) నుండి పక్కనున్న గర్తకి కాని ఉన్న దూరమే తరంగదైర్ఘ్యం లేదా తరంగం పొడుగు. ఇంతటితో ఉపాఖ్యానం సమాప్తం.

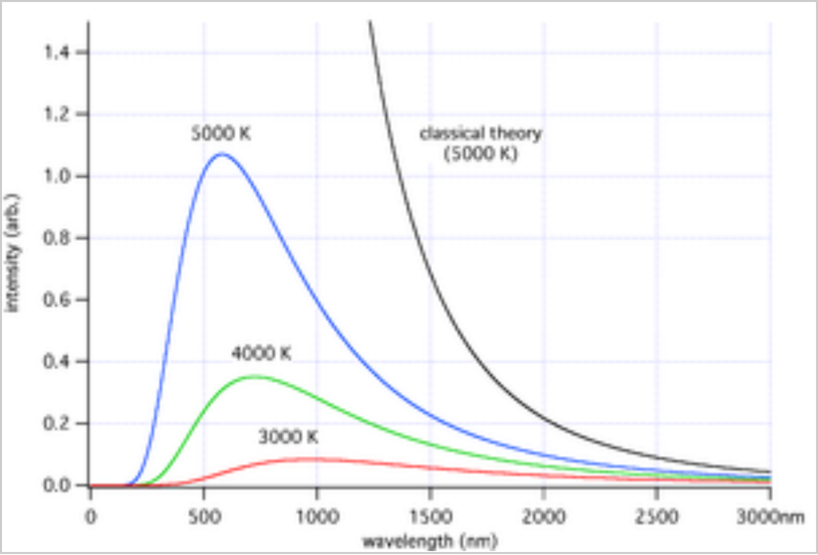
3 విద్యుదయస్కాంత తరంగాల రంగులు

విద్యుదయస్కాంత కిరణాలని (ఉ. కాంతి కిరణాలని) తరంగాలుగా ఊహించుకుంటే ఆ తరంగాలకి ఉన్న తరచుదనం ఆ కిరణాల రంగుని నిశ్చయిస్తుంది. కనుక ఒక కిరణం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం (పొడుగు) చెప్పినా, తరచుదనం (లేదా జోరు) చెప్పినా, దాని రంగు చెప్పినా ఒక్కటే. కర్రికాయ రంగు

ఎర్రగా ఉందంటే దాని నుండి వెలువడే కాంతి తరంగాల పొడుగు సుమారుగా 700 నేనోమీటర్లు ఉంటుందని అర్థం. కర్రికాయ రంగు నీలంగా ఉందంటే దాని నుండి వెలువడే కాంతి తరంగాల పొడుగు సుమారుగా 500 నేనోమీటర్లు ఉంటుందని అర్థం. కర్రికాయ రంగు అత్యూదంగా ఉందంటే దాని నుండి వెలువడే కాంతి తరంగాల పొడుగు సుమారుగా 10 నుండి 400 నేనోమీటర్లు మధ్యలో ఉంటుందని అర్థం. కానీ కర్రికాయ రంగు నల్లగా ఉందంటే కాయ నుండి బయటకి ఏ కిరణాలూ ప్రసారం కావటం లేదన్నమాట, తెల్లగా ఉందంటే కాయ నుండి అన్ని రకాల కిరణాలూ బయటకి ప్రసారం అవుతున్నాయన్న మాట.

4 అత్యూద వినిపాతం (ultraviolet catastrophe)

ఇప్పుడు కర్రికాయతో ఒక ప్రయోగం చేద్దాం. ఒక కర్రికాయని వేడి చేసి రకరకాల తాపోగ్రతల దగ్గర దాని నుండి వెలువడే వికిరణాలు ఏయే రంగులలో (అనగా ఏయే తరంగపు పొడుగులతో) వితరణ చెందేయో (distribute అయేయో) చూసి ఒక గ్రాఫు గీద్దాం. బొమ్మని ఒక సారి చూడండి. ఈ బొమ్మలో x-అక్షం మీద కర్రికాయ ఏ రంగులో కనిపిస్తోందో (అనగా, కాంతి కిరణం యొక్క తరచుదనం కానీ తరంగం పొడుగు కానీ) ఎంతో గుర్తించేము. బొమ్మ y-అక్షం మీద కర్రికాయ రంగు ఎంత తీవ్రతతో (energy density or intensity) ఉందో గుర్తించేము. ఉదాహరణకి, ఒక కర్రికాయని క్రమేపీ వేడి చేసి చూసేమనుకుందాం. కాయ వేడి కెల్విన్ కొలమానంలో 3,000 డిగ్రీలు చేరుకున్నప్పుడు అది ఏయే రంగు కిరణాలని ఎంతెంత శక్తివంతంగా విరజిమ్ముతున్నాదో కొలిచి ఒక గ్రాఫు గీస్తే మనకి ఎర్ర రంగు గీత వస్తుంది. ఈ ఎర్ర గీత - అనగా, ఎర్ర రంగు కాంతి తరంగం - 990 నేనో మీటర్ల పొడుగు దగ్గర గరిష్ఠ ఎత్తుకు చేరుకుంది కదా.   కనుక కర్రికాయ వేడి 3,000 డిగ్రీలు ఉన్నప్పుడు దాని నుండి బయట పడే విద్యుదయస్కాంత తరంగాలలో సింహభాగం 990 నేనో మీటర్ల దగ్గర ఉండే తరంగాలు అని అర్థం. ఇవి మన కంటికి కనబడవు కనుక కర్రికాయ వేడిగా ఉన్నా వెలుగుని విరజిమ్మదు. ఈ ఎర్ర గీత ఏయే రంగు కెరటాలు ఎంతెంత తీవ్రతతో ఉంటాయో - వాటి వితరణ (distribution) - చూపిస్తుంది అన్నమాట!



బొమ్మ. కర్రికాయ ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతున్న కొద్దీ దాని నుండి వెలువడే వికిరణాల వితరణ చూపే బొమ్మ. సంప్రదాయిక వాదం ప్రకారం పరిస్థితి కుడి వైపు ఉన్న నలుపు గీత మాదిరి ఉండాలి. కానీ రంగు గీతలు మూడూ ప్రయోగాల ద్వారా నిర్ధారించబడ్డాయి. కనుక సంప్రదాయిక వాదం వీగిపోయింది.

కర్రికాయ వేడి 4,000 డిగ్రీలు చేరుకున్నప్పుడు ఏయే రంగు కిరణాల్ని ఎంతెంత శక్తివంతంగా విరజిమ్ముతున్నాదో కొలిచి ఒక గ్రాఫు గీస్తే మనకి ఆకుపచ్చ రంగు గీత వస్తుంది. ఈ ఆకుపచ్చ గీత 700 నేనో మీటర్ల దగ్గర గరిష్ఠ ఎత్తుకు చేరుకుంది కదా. కనుక కర్రికాయ వేడి 4,000 డిగ్రీలు ఉన్నప్పుడు దాని నుండి బయట పడే సింహభాగం విద్యుదయస్కాంత తరంగాల నిడివి 700 నేనో మీటర్ల దగ్గర ఉంటుందని అర్థం. ఇవి మన కంటికి కనబడే ఎరుపు తరంగాలు కనుక కర్రికాయ వేడిగా ఉండడమే కాకుండా మందంగా వెలుగుని కూడా విరజిమ్ముతుంది.

కర్రికాయ వేడి 5,000 డిగ్రీలు చేరుకున్నప్పుడు మరొక గ్రాఫు గీస్తే మనకి నీలి రంగు గీత వస్తుంది. ఈ నీలి గీత 500 నేనో మీటర్ల దగ్గర గరిష్ఠ ఎత్తుకు చేరుకుంది కదా. కనుక కర్రికాయ వేడి 5,000 డిగ్రీలు ఉన్నప్పుడు దాని నుండి బయట పడే ఎక్కువ విద్యుదయస్కాంత తరంగాల నిడివి 500 నేనో మీటర్ల దగ్గర ఉంటుందని అర్థం. ఇవి మన కంటికి కనబడే కాంతి తరంగాలు కనుక కర్రికాయ వేడిగా ఉండడమే కాకుండా వెలుగుని విరజిమ్ముతూ కనిపిస్తుంది. ఇంకా వేడి చేస్తే నీలి రంగు (470 nm), ఇంకా వేడిచేస్తే అత్యూదం వస్తాయి. ఇది ప్రయోగం చెప్పిన ఫలితం.

కాని ఆ రోజుల్లో చెలామణిలో ఉన్న సనాతన వాదం ఊదా రంగు ఉన్న గీత వస్తుందని చెప్పింది. ఊదా రంగు గీత ఏమని చెబుతోంది? కర్రికాయ వేడి 5,000 డిగ్రీలు చేరుకునేసరికి దాని తీవ్రత క్రమేపి పెరిగి, అత్యూద ప్రాంతంలోకి (అనగా తరంగం పొడుగు 10 - 400 నేనో మీటర్ల ప్రాంతం లోకి) వచ్చేసరికి

అనంతంగా పెరిగిపోతోంది. దీన్నే “అత్యూద వినిపాతం” (ultraviolet catastrophe) అంటారు. భౌతికంగా ఏదీ ఇలా అపరిమితంగా పెరిగిపోకూడదు; పెరిగేది ప్రతీదీ ఎక్కడో ఒక చోట విరగాలి. ఈ క్లిష్ట సమశ్యకి సనాతన భౌతికశాస్త్రం పరిష్కారం చూపించలేకపోయింది.

5 మాక్స్ ప్లాంక్ లేవదీసిన వాదం

ఈ సమస్యకి మాక్స్ ప్లాంక్ (Max Planck) ఈ విధంగా పరిష్కారం సూచించేడు. రేలీ-జీన్స్ ప్రతిపాదించిన సనాతన వాదంలో కీలకమైన అంశం “సమపంపకం” (equipartition) అనే సూత్రం. సనాతన వాదంలో పదార్థంలోని అణువులు కంపనం వల్ల వేడి (శక్తి) పుడుతుంది. ఈ అణువులు కంపనం మీద ఏ విధమైన ఆంక్షలు లేవు; అవి జోరుగా కంపించ వచ్చు , నెమ్మదిగా కంపించవచ్చు. ఎంత నెమ్మదిగా కంపించవచ్చు? సూక్ష్మాతిసూక్ష్మమైన కంపనాలు ఉండొచ్చు. అప్పుడు వాటిలో ఇమిడి ఉన్న శక్తి కూడా సూక్ష్మాతిసూక్ష్మమైన పరిమాణంలో ఉంటుంది కదా? ఇలాంటి సూక్ష్మాతిసూక్ష్మమైన కంపన స్థితులు అనంతమైనన్ని ఉండొచ్చు కనుక, సూక్ష్మాతిసూక్ష్మమైన పరిమాణంలో ఉన్నప్పటికీ అవి అనంతమైనన్ని ఉన్నప్పుడు వాటి మొత్తం శక్తి అంతులేనంతగా పెరిగి పోతుంది. (ఒక సరళరేఖ మీద అనంతమైనన్ని బిందువులు ఉన్నట్లే ఇక్కడ కూడా అని ఉపమానం చెప్పుకోవచ్చు!) ఇది రేలీ-జీన్స్ ప్రతిపాదనలో ఉన్న లొసుగు.

దీనిని పరిష్కరించడానికి మాక్స్ ప్లాంక్ ఏమన్నాడు? అన్నిటి కంటే సూక్ష్మాతిసూక్ష్మమైన పరిమాణంలో ఉన్న స్థితిలో శక్తి విలువ hf అనుకోమన్నాడు. ఇక్కడ f అనేది కంపనాల తరచుదనం, h అత్యంత చిన్న సంఖ్య. ఎంత చిన్న సంఖ్య అంటే h = 6.63 x 10^(-34). అనగా 1 ని లవంలో వేసి, హారంలో 1 తరువాత 34 సున్నలు వేసి భాగించాలి. అంటే సూక్ష్మాతిసూక్ష్మమైన పరిమాణంలో ఉన్న స్థితిలో శక్తి విలువ అత్యల్పం. ఈ అత్యల్పం అయిన శక్తిని ఒక హోమియోపతి మాత్రలా ఉహించుకొండి. మరికొంచెం శక్తి కావాలంటే రెండు మాత్రలు వాడాలి. ఇంకొంచెం శక్తి కావాలంటే మూడు మాత్రలు వాడాలి. మధ్యే మార్గంగా ఒకటిన్నర మాత్రలు, రెండుంపావు మాత్రలు ఉండవు - ఎందుకంటే మాత్ర ఎంతో చిన్నది కనుక!

ఇక్కడ చిన్న ఉపమానం ఉదాహరణగా చెబుతాను. మన దగ్గర 6 రూపాయలు ఉన్నాయి. ఈ ఆరు రూపాయలని క, చ, ట, త, ప, గ అనే ఆరుగురు వ్యక్తులకి పంచాలి. సమపంపకం (equipartition) సూత్రం ఉపయోగిస్తే ఒక్కొక్కరికి ఒక రూపాయి చొప్పున ఇవ్వాలి. ఇప్పుడు క ఒక రూపాయి కంటే తక్కువ అయితే పుచ్చుకోడు, చ రెండు రూపాయిల కంటే తక్కువ అయితే పుచ్చుకోడు, ట మూడు రూపాయిల కంటే తక్కువ అయితే పుచ్చుకోడు,...., గ ఆరు రూపాయిల కంటే తక్కువ అయితే పుచ్చుకోడు అని అనుకుందాం. అందుకని ఆరు రూపాయలూ ‘గ’ కి ఇచ్చేసి మిగిలిన వారికి సున్న చుట్టేస్తే ఏమి న్యాయం? ఈ పరిస్థితులలో న్యాయబద్ధమైన పంపకం ఎలా ఉండాలంటే క కి ఒక

రూపాయి, చ కి రెండు, ట కి మూడు ఇచ్చి, త, ప, గ లకి సున్నా చుట్టడమే - వాళ్ళు ఆశపోతులు కనుక. మాక్స్ ప్లాంక్ చేసిన పంపకం దరిదాపు ఇలాంటిదే. బొమ్మలో కుడి పక్కకి జరుగుతున్నకొద్దీ అడిగే శక్తి తక్కువ కనుక అడిగినంతా దక్కుతుంది. బొమ్మలో ఎడం పక్కకి జరుగుతున్న కొద్దీ అడిగే శక్తి మిక్కిలి ఎక్కువ కనుక ఏదీ దక్కదు.

ఈ మాత్రలని ఇంగ్లీషులో క్వాంటం (quantum) అని ఏక వచనం లోనూ, క్వాంటా (quanta) అని బహువచనంలోనూ అంటారు. వీటిని మనం తెలుగులో గుళికలు అంటున్నాం. శక్తి పెరుగుదల, తరుగుదల ఇలా గుళికల ప్రమాణంలో ఉంటుందని లెక్క వేసి చూస్తే లెక్కకి, ప్రయోగానికి సామరస్యం కుదిరింది.

ఇటుపైనుండి ఉష్ణ శక్తి గుళికల ప్రమాణంలోనే ఉంటుందని అందరూ అంగీకరించారు. అనగా శక్తి స్వరూపం చూరు నుండి కారే నీటి ధారలా ఉండదు; ఏ ఆవగింజల మాదిరో ఉంటుంది. ఈ రకం ఆలోచన ఆనాటి భౌతికశాస్త్రాన్ని కూకటివేళ్ళతో కుదిపేసింది.

4. కాంతిని గుళికీకరించడం

సనాతన భౌతిక శాస్త్రానికి కొరకరాని కొయ్యలా తయారయిన మరొక ప్రయోగం తేజో విద్యుత్ ప్రభావం (photoelectric effect). ఈ రోజుల్లో ఎన్నో ఉపకరణాలు ఈ తేజోవిద్యుత్ ప్రభావం మీద అధారపడి పని చేస్తున్నాయి కనుక వినియోగం దృష్ట్యా ఇది ముఖ్యమైన అంశం.

విద్యుదయస్కాంత వికిరణం (electromagnetic radiation, ఉదాహరణకి కాంతి) కొన్ని పదార్థాల మీద పడ్డప్పుడు ఆ పదార్థాలు అలా పతనమవుతూన్న వికిరణం లోని శక్తిని పీల్చుకొని, కొన్ని ఎలక్ట్రానులని విడుదల చేస్తాయన్న గమనిక ఈ తేజోవిద్యుత్ ప్రభావం యొక్క లక్షణం.

మామూలు భాషలో చెప్పుకోవాలంటే కాంతి కొన్ని లోహాల మీద పడ్డప్పుడు ఆ లోహపు ఉపరితలం మీద నుండి ఎలక్ట్రానులు ఒక ప్రవాహంలా పుట్టుకొస్తాయి. ఎలక్ట్రానుల ప్రవాహమే విద్యుత్ ప్రవాహం కనుకనున్నూ, ఇంగ్లీషులో ప్రవాహాన్ని “కరెంట్” (current) అని అంటారు కనుకనున్నూ, ఇక్కడ ఇలా పుట్టుకొచ్చిన ఎలక్ట్రానుల ప్రవాహాన్ని మనం కావలిస్తే "తేజోవిద్యుత్ ప్రవాహం” (photoelectric current) అని తెలుగులో అనొచ్చు. ఈ సందర్భంలో కొరుకు పడని సమశ్య ఏమిటని అడుగుతున్నారా?

తెలుసుకోవాలనే కుతూహలంతో కుతకుతలాడే పాఠకుల కోసం 1887 లో హెర్ట్స్ (Hertz) చేసిన ప్రయోగం వల్ల మనకి తెలిసిన అంశాలు ఒకసారి ఇక్కడ క్రోడీకరిస్తాను. ముందుగా ఏదో ఒక పదార్థాన్ని స్థిరపరచేమని అనుకుందాం. మాటవరసకి రాగి అనుకుందాం.

1. ఇలా స్థిరపరచిన పదార్థం (రాగి) మీద పతనమయే కాంతి తరంగాల తరచుదనం (లేదా, రంగు) ఒక కనీసపు హద్దుని మించి ఉండకపోతే తేజో ఎలక్ట్రానులు అస్సలు పుట్టనే పుట్టవు. ఈ కనీసపు తరచుదనపు హద్దుని f0 అని రాద్దాం. (ఉదాహరణకి, ఎర్ర రంగు కాంతి పతనమయినప్పుడు ఎలక్ట్రానులు పుట్టకపోవచ్చు కానీ నీలి రంగు కాంతి వల్ల పుట్టొచ్చు.)
2. ఈ కనీసపు హద్దు f0 ఆ పదార్థం మీద, ఆ పదార్థపు ఉపరితలం ఎంత సాఫుగా ఉందో, ఎంత శుభ్రంగా ఉందో, వగైరా అంశాల మీద ఆధారపడి ఉంటుంది.
3. పదార్థం మీద పడే విద్యుదయస్కాంత తరంగాల తరచుదనం మన కనీసపు హద్దు f0 ని దాటి ఉందనుకుందాం. అప్పుడు బయటకి విడుదల అయిన ఆ తేజో ఎలక్ట్రానుల సంఖ్య (అనగా, తేజోవిద్యుత్ కరెంటు) పతనమయే కాంతి తీవ్రత (intensity) మీద అనులోమ

అనుపాతం (direct proportion) లో అధారపడి ఉంటుంది. (ఇక్కడ తీవ్రత అనే భావానికి, రంగు అనే భావానికి మధ్య తేడా గుర్తించండి.)

4. పదార్థం మీద పతనమయే తరంగాల తరచుదనం పెరిగే కొద్దీ, అక్కడ నుండి పుట్టుకొచ్చే తేజో ఎలక్ట్రానుల ప్రవాహ తీవ్రత పెరుగుతుంది. అనగా, ప్రవాహంలో ఎక్కువ ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయి.
5. తరంగాల తరచుదనం కనీసపు హద్దు దాటిన తరువాత, పుట్టుకొచ్చే ఎలక్ట్రానుల చలన శక్తి లేదా గతిజ శక్తి (kinetic energy) తరచుదనం మీద ఆధారపడి ఉంటుంది తప్ప తీవ్రత మీద కాదు. (ఇక్కడ చిన్న సవరింపు చెయ్యాలి కాని, అది ప్రస్తుతానికి అనవసరం.)

ఈ తేజో ఎలక్ట్రానులలో ఉన్న శక్తి ఆ పదార్థం మీద పతనమయే విద్యుదయస్కాంత తరంగాల తీవ్రత మీద ఆధారపడి ఉంటుందని సంప్రదాయ భౌతిక శాస్త్రం చెబుతోంది. అది అలా కాకుండా ఆ తరంగాల తరచుదనం (frequency లేదా color) మీద ఆధారపడి ఉంటుందని ప్రయోగం ద్వారా తెలిసింది. అంతే కాదు. పతనమయే తరంగాల తరచుదనం ఎక్కువ అయే కొద్దీ విడుదల అయే "తేజో ఎలక్ట్రాను"ల జోరు పెరుగుతుంది; అంటే, ఎక్కువ కరెంటు ప్రవహిస్తుంది. ఇది ప్రయోగం చెయ్యగా తెలిసిన విషయం. సనాతన భౌతిక శాస్త్రం ప్రకారం “కాంతి కెరటాలులా ప్రవహిస్తోంది” అని అనుకున్నంత సేపు మన ప్రయోగంలో కనిపిస్తున్న ఫలితం ఎందుకు అలా జరుగుతోందో వివరించి చెప్పలేక పోయింది.

ఈ సమస్య పరిష్కారం కాకుండా చాల కాలం ఉండిపోయింది. అప్పుడు ఆయిన్^స్టయిన్ రంగంలోకి దిగి ఈ విధంగా వివరణ ఇచ్చేడు. ప్లాంక్ (ఉష్ణ) శక్తిని గుళికీకరించినట్లే ఇక్కడ (కాంతి) శక్తిని గుళికీకరించాలని ప్రతిపాదించేడు. ఒక కాంతి గుళికకి “ఫోటాను” (ఫొటో ఎలక్ట్రాన్) అని 1920 లో మరొకరు పేరు పెట్టేరు. ఈ ఫోటానుని మనం తెలుగులో తేజాణువు అందాం. లోహంలో ఉన్న ఎలక్ట్రానుని బయటికి నెట్టడానికి కొంత శక్తి కావాలి కదా. ఆమాత్రం శక్తి పతనం అవుతున్న తేజాణువులో ఇమిడి ఉంటే అది ఎలక్ట్రానుని బయటికి నెట్టగలదు. కాంతిని గుళికీకరిస్తే - ప్లాంక్ సూత్రం ప్రకారం - ఒక కాంతి గుళికలో - అనగా, ఒక తేజాణువులో $E = hf$ ప్రాప్తికి శక్తి ఉంటుంది. కనుక తరచుదనం $f0$ హద్దు దాటిన తరువాత ఒకే ఒక్క తేజాణువులో కూడ ఎలక్ట్రానుని బయటికి నెట్టగలిగే శక్తి ఉంటుంది. (అనగా, ఒక ఎలక్ట్రానుని బయటికి నెట్టడానికి సరి అయిన రంగు గల ఫోటాను ఒక్కటి ఉన్నా చాలు.) తరచుదనం $f0$ హద్దుకి లోపుగా ఉన్నట్లయితే కాంతి కిరణంలో ఎన్ని తేజాణువులు ఉన్నా వాటికి ఎలక్ట్రానులని బయటికి నెట్టగలిగే శక్తి ఉండదు.

ఈ ప్రక్రియ సమగ్రంగా అర్థం కావాలంటే చిన్న లెక్క చేసి చూడాలి. ఒక లోహంలో ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయి కదా. వాటిని బావిలోఉన్న కప్పల మాదిరి ఉహించుకుందాం. కప్ప (ఎలక్ట్రాను) బావి లోంచి బయట పడాలంటే బావి గోడని గెంతడానికి సరిపడా శక్తి ఉండాలి కదా. ఎంత శక్తి ఉండాలి? బావి గోడ ఎంత ఎత్తు ఉందో అంత! ఇలా ఎలక్ట్రానులు లోహం ఉపరితలాన్ని దాటి బయటకి రావడానికి కావలసిన శక్తిని ఇంగ్లీషులో “వర్క్ ఫంక్షన్” (work function) అంటారు. దీనిని W అనే అక్షరంతో సూచిద్దాం. లోహం మీద పతనమయే తేజాణువులో ఉన్న శక్తి ఈ W కంటే ఎక్కువ ఉంటే నూతి అడుగున ఉన్న కప్ప (ఎలక్ట్రాను) బయటకి రాగలదు. బయటకి వచ్చినప్పుడు ఎంతో కొంత వేగం v తో వస్తుంది కదా. ఇప్పుడు లోపలికి వెళ్ళిన శక్తిని బయటకి వచ్చిన శక్తిని బేరీజ వేసి చూద్దాం:

బయటకి వచ్చిన ఎలక్ట్రానులో ఉండే గతిజశక్తి (kinetic energy) = $\frac{1}{2} m v^2$. (ఈ సూత్రం భౌతికశాస్త్రంలో చెబుతారు.)

లోపలికి వెళ్ళిన తేజాణువులోఉన్న శక్తి = E_{photon} = hf
(అయిన్^స్టయిన్ ప్రతిపాదన ప్రకారం. ఇక్కడ E_photon అన్నది పతనం అవుతున్న ఫొటాను యొక్క శక్తి)

“నూతి” గోడని దాటడానికి కావలసిన శక్తి = W

కనుక పతనం అవుతున్న ఫొటాను శక్తి = గోడని దాటడానికి కావాల్సిన శక్తి + దాటిన తరువాత ప్రయాణించడానికి కావాల్సిన శక్తి. అనగా, గణిత రూపంలో

$$hf = W + \frac{1}{2}mv^2$$

అయిన్^స్టయిన్ ప్రతిపాదన సరి అయినదే అని మిల్లికన్ ప్రయోగాత్మకంగా 1915లో ఋజువు చేసే వరకు అయిన్^స్టయిన్ ని కూడా ఎవ్వరు నమ్మలేదు! లోహపు ఉపరితలం నుండి బయటకి వచ్చిన తేజాణువుల శక్తిని అనగా $\frac{1}{2}mv^2$ ని మిల్లికన్ కొలిచేడు. ఇది ఎలా జరిగిందో చిన్న ఉరమర లెక్కలు వేసి చూపుతాను.

ఉదాహరణ 1: రాగి యొక్క వర్క్ ఫంక్షన్ $W = 7.53 \, x \, 10^{-19}$ జాలులు. ఒక నున్నటి రాగి రేకు మీద f = $3 \, x \, 10^{16}$ హెర్ట్స్ తరచుదనం ఉన్న కాంతిని ప్రసరిస్తే ఎలక్ట్రానులు ఊడిపడతాయా? పడవా?

అయిన్^స్టయిన్ వాదం ప్రకారం ఇక్కడ పతనం అవుతున్న ఒక తేజాణువులో ఉన్న శక్తి

$E \ = \ hf \ = \ 6.62 \, x \, 10^{-34}$ జూల్-సెకండ్లు x $3 \, x \, 10^{16}$ హెర్ట్స్
(ఇక్కడ స్థిరాంకం h విలువ మనకి తెలుసు!)

= $2 \, x \, 10^{-17}$ జూలులు

కనుక పతనం అవుతున్న ఒక తేజాణువులో ఉన్న శక్తి E = $2 \, x \, 10^{-17}$ జూలులు. ఈ విలువ రాగి యొక్క "వర్క్ ఫంక్షన్" $W \ = \ 7.53 \, x \, 10^{-19}$ జూలులు కంటె ఎక్కువ కనుక రాగి నుండి తేజోఎలక్ట్రానులు బయటకి వస్తాయి. ఎంత జోరుగా వస్తాయి?

పతనం అవుతూన్న కాంతి పుంజంలో ఉన్న శక్తి కొంత మేరకి వర్క్ ఫంక్షన్ ని అధిగమించడానికి ఖర్చ యిపోగా, మిగిలినది ఎలక్ట్రాను జోరుని పెంచడానికి ఉపయోగపడుతుంది. అనగా,

E_{photon} = W + $\frac{1}{2}mv^2$

$\frac{1}{2}mv^2$ = E_{photon} - W

$\frac{1}{2}mv^2$ = $2 \, x \, 10^{-17}$ - $7.53 \, x \, 10^{-19}$ = 1.9 x 10^{-17} జూలులు

ఎలక్ట్రాను యొక్క గరిమ m = $9.1 \, x \, 10^{-31}$ కిలో గ్రాములు

కనుక v^2 = (2 x 1.9 x 10^{-17} జూలులు)/ $9.1 \, x \, 10^{-31}$ కి. గ్రా

= $41.7 \, x \, 10^{12}$

v = 6.45 x 10^{6} మీటర్లు/సెకండు = 6,450,000 మీటర్లు/సెకండు
పోలికకి, కాంతి వేగం = 300,000,000 మీటర్లు/సెకండు
అనగా, ఉరామరగా, కాంతి వేగంలో సగానికి తక్కువ వేగంతో ఎలక్ట్రాను బయటకి వస్తుంది అన్నమాట!!

ఉదాహరణ 2: ఒక లోహం యొక్క work function = 4.73 ev. ఆ లోహం మీదకి 80 nm పొడుగున్న కాంతిని ప్రసరించినప్పుడు బయటకి వచ్చే తేజో ఎలక్ట్రానులలో ఎంత శక్తి ఉంటుంది? ఆ తేజో ఎలక్టానులు ఎంత జోరుగా ప్రయాణం చేస్తూ బయటకి వస్తాయి?

E_{photon}= W + $\frac{1}{2}mv^2$

E_{photon} = hf = W + $\frac{1}{2}mv^2$

ఇక్కడ స్థిరాంకం h విలువ = $6.62\, x\, 10^{-34}$ జూల్ సెకండ్లు
ఇక
f = పతనం అయే కాంతి యొక్క తరచుదనం (రంగు)
λ విలువ 80 నేనోమీటర్లు అని ఇచ్చేరు కనుక

λ = పతనం అయే కాంతి తరంగం పొడుగు = $80\, x\, 10^{-9}$ మీటర్లు

c = కాంతి వేగం = $3.0\, x\, 10^{8}$ మీటర్లు/సెకండు
కనుక f = c/λ ఉపయోగించి

f = c/λ = $3.0\, x\, 10^{8}$ m/s / $80\, x\, 10^{-9}$ m = $3.75\, x\, 10^{15}$ Hz
ఇప్పుడు E_{photon} విలువ కట్టవచ్చు.

E_{photon} = hf = $6.62\, x\, 10^{-34}$ జూల్ సెకండ్లు x $3.75\, x\, 10^{15}$ హెర్ట్స్ = 24.83 x 10^{-19} జూలులు

ఇప్పుడు $\frac{1}{2}mv^2$ = E_{photon} - W
కానీ W విలువ ఎలక్ట్రాన్ ఓల్ట్ కొలమానంలోఇచ్చేరు. దీనిని జూలులు లోకి మార్చటానికి
$1.602\, x\, 10^{-19}$ చేత గుణించాలి.

$\frac{1}{2}mv^2$ = 24.83 x 10^{-19} - 4.73 x 1.602 x 10^{-19} = 17.253 x 10^{-19}జూలులు
ఈ సమీకరణంలో m ఎలక్ట్రాను గరిమ. దీని విలువ మనకి తెలుసు.

m = 9.1 x 10^{-31} kg

ఈ విలువని ప్రతిక్షేపించి v^2 విలువ కట్టవచ్చు.
v^2 = 2 x 17.253 x 10^{-19}జూలులు / 9.1 x 10^{-31} kg

= 3.791 x 10^{12}

v = 1.94 x 10^{6}మీటర్లు /సెకండు

5. అణువుని గుళికీకరించడం

అణువు మన ఊహాకి అందనంత చిన్నది! “ఒక అణువు యొక్క ఉరువు (size) ఉరమరగా 10^{-10} మీటర్లు ఉంటుంది” అని అంటారు శాస్త్రవేత్తలు. ఇక్కడ 10^{-10} అంటే 1ని లవంలో వేసి 1 తరువాత 10 సున్నలు వచ్చే సంఖ్యని హారంలో వెయ్యగా వచ్చే సంఖ్య, అనగా 1/10,000,000,000 అని అర్థం. అనగా, 1ని 10 బిలియన్లు తో భాగించమని అర్థం. అనగా, మీటరులో పది బిలియనో వంతు. అణువు యొక్క ఉరువు ఎంత చిన్నదో చెప్పడానికి మరొక ఉదాహరణ: 250 మిలియను (250,000,000) అణువులని వరసగా పేర్చితే ఒక అంగుళం పొడుగు వస్తుంది! అణువు అంత చిన్న వస్తువు!

రూథర్ఫర్డ్ (Ernest Rutherford) అనే పెద్దాయన 1911 లో చేసిన ఒక ప్రయోగం ఫలితంగా అణువుకి సంబంధించిన సత్యం ఒకటి బయట పడింది. ఏమిటా విషయం? అణువు యొక్క గరిమ (mass) లో సింహ భాగం అణుగర్భంలోనే కేంద్రీకృతమై ఉందని అయన నిరూపించేడు. ఆ అణుగర్భం (nucleus) అణువు ఉరువులో 100,000 వంతు ఉంటుంది! ఈ పరిస్థితిని ఎలా ఊహించుకోవడం? నేను పాఠం చెప్పే గది అణువు పరిమాణంలో ఉందని అనుకుంటే ఆ గది మధ్యలో ఉన్న ఇసక రేణువులా ఈ అణు కేంద్రాన్ని (గర్భాన్ని) ఊహించుకోవచ్చు. ఈ అణు కేంద్రాన్ని పరిభాషలో “కేంద్రకం” (nucleus) అంటారు.

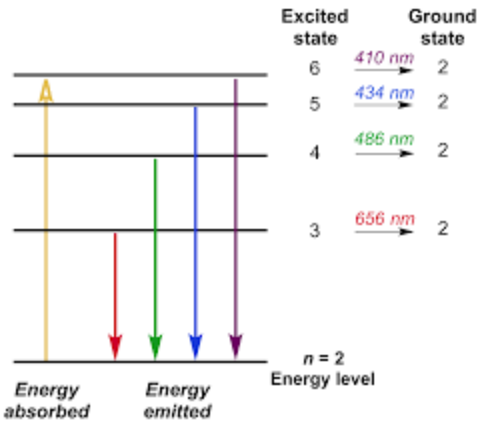
అణు కేంద్రానికి ధనావేశం ఉంటే ఆ అణువు చుట్టూ ఆవరించుకుని ఉన్న ప్రదేశంలో ఎక్కడో ఋణావేశం ఉన్న ఎలక్ట్రానులు అనే కణాలు ఉంటాయని ఉహించుకునేవారు. కానీ మెక్స్వెల్ ప్రవచించిన సూత్రాల ప్రకారం, ఇటువంటి పరిస్థితిలో, ఋణావేశం ఉన్న ఎలక్ట్రానులు కేంద్రం చుట్టూ సర్పిలాకారంలో (spiral shape లో) ప్రదక్షిణం చేస్తూ కేంద్రంలో పడిపోయి, లిప్త మాత్రపు కాలంలో, ఆ అణువు నశించిపోవాలి. కానీ అణువులు నశించిపోవడం లేదు కదా!

పచ్చి వెలక్కాయలా గొంతుకలో పడ్డ ఈ సమస్యని నీల్స్ బోర్ (Niels Bohr) 1913 లో పరిష్కరించేడు. అయన వాదం ప్రకారం, “ఎలక్ట్రానులు సర్పిలాకారంలో ప్రదక్షిణ చేస్తున్నాయంటే వాటిలోని శక్తి క్రమేపి తగ్గుతోందనే కదా భావం! కానీ, ఇలా కాకుండా ఎలక్ట్రానులు శక్తిని సంతరించుకున్నప్పుడు మాత్రల (గుళికల) ప్రమాణంలో గ్రహిస్తాయి, శక్తిని విడుదల చేసినప్పుడు మాత్రల (గుళికల) ప్రమాణంలో విడుదల చేస్తాయి.” (హోమియోపతి మందు వేసుకున్నప్పుడు మూడు మాత్రలో, నాలుగో, ఐదో వేసుకుంటాము కానీ మూడున్నర వేసుకోము కదా! అలాగన్న మాట.) ఇదే విషయాన్ని మరొక విధంగా చెప్పాలంటే అణువులో ఉన్న ఎలక్ట్రాను - అంతిపురంలో ఉన్న అమ్మాయిలా - ఎదో

ఒక “అంతస్తు“ (energy level) లోఉంటుంది (అనగా, ఎంతో కొంత నిర్దిష్టమైన శక్తి కలిగి ఉంటుంది); ఒక అంతస్తు నుండి మరొక అంతస్తుకి “గభీ” మని గెంతు వేయవచ్చు కానీ నెమ్మదిగా మెట్లు దిగి రాడానికి (అనగా, మధ్యలో ఆగడానికి) వీలు లేదు. (నూతిలోకి దిగుతున్నప్పుడు కాలు ఎదో ఒక మెట్టు మీద వెయ్యడానికి వీలవుతుంది కానీ ఇష్టం వచ్చిన చోట వెయ్యడానికి వీలవదు కదా! అలాగన్నమాట.) గుళిక వాదంలో ఇది మౌలికమైన ఆలోచన.

సంప్రదాయిక భౌతిక శాస్త్రంలో ఇటువంటి ఆలోచనకి తావు లేదు. ఉదాహరణకి ఒక టెన్నిస్ బంతిని పుటికీలు వేస్తున్నాం అనుకుందాం. ఆ బంతిని మనం ఎంత గట్టిగా నేల మీద కొడితే అది అంత ఎత్తుకి లేస్తుంది కానీ ఒక నిర్దిష్ఠమైన ఎత్తుకే లేస్తానని మొరాయించదు. ఎందుకంటే, టెన్నిస్ బంతి వంటి పెద్ద శాల్తీ మీద గుళిక వాదం అనే అస్త్రాన్ని ప్రయోగించి చూస్తే, ఆ బంతి ఆక్రమించగలిగే “శక్తి-అంతస్తుల” మధ్య దూరం అత్యల్పం; మన కంటికి కనబడనంత స్వల్పం! కానీ ఇదే గుళిక వాదం అనే అస్త్రాన్ని ఎలక్ట్రాను అనే అతి చిన్న రేణువు మీద ప్రయోగిస్తే అంతస్తుల మధ్య దూరం స్ఫుటంగా కనిపిస్తుంది. ఈ అంతస్తులనే ఇంగ్లీషులో energy levels అంటారు. వీటిని మనం తెలుగులో “శక్తి స్థావరాలు” అని పిలుద్దాం.

ఒక వస్తువు (ఉదాహరణకి, ఉదజని వాయువు)ని వేడి చేస్తే (అనగా, బయట నుండి శక్తి లోపలి వెళ్ళేటట్లు చేస్తే), ఆ అణువులోని ఎలక్ట్రాను ఒకటవ అంతస్తు నుండి రెండవ అంతస్తుకి వెళుతుంది. ఇంకా వేడి చేస్తే మూడవ అంతస్తుకి వెళ్ళవచ్చు. పై అంతస్తులలో ఉన్న ఎలక్ట్రానులలో ఎక్కువ శక్తి ఇమిడి ఉంటుంది. వీలయినప్పుడల్లా ఎలక్ట్రానులకి కింది అంతస్తులలో గడపడం ఇష్టం. (మనకి కూడా వీలయితే సోఫా మీద పడుకుని టివి చూడడం ఇష్టం అయినంతగా బయటకి వెళ్ళి పని చెయ్యడం ఇష్టంగా ఉండదు కదా!) కనుక రెండవ అంతస్తులో ఉన్న ఎలక్ట్రాను అవకాశం దొరికితే ఒకటవ అంతస్తు లోకి దిగజారడానికి ఇష్టపడుతుంది. అంటే ఎక్కువ శక్తి ఉన్న స్థితి నుండి తక్కువ స్థితి ఉన్న స్థితికి దిగజారుతుంది. ఈ రెండు స్థితుల మధ్య ఉన్న తేడా శక్తి విద్యుదయస్కాంత వికిరణం (electromagnetic radiation) రూపంలో బయటకి విడుదల అవుతుంది. ఈ ప్రక్రియని ఈ దిగువ బొమ్మలో చూపినట్లు చిత్రించవచ్చు.



బొమ్మ: ఉత్తేజిత స్థావరాల నుండి ఎలక్ట్రాన్ దిగువకి పతనం అయినప్పుడు కాంతి (విద్యుదయస్కాంత వికిరణం) విడుదల అవుతుంది. ఆ కాంతి రంగు పతనం అయిన దూరాన్ని బట్టి మారుతూ ఉంటుంది.

విద్యుదయస్కాంత వికిరణం అంటే? రేడియో తరంగాలు, సూక్ష్మ తరంగాలు, పరారుణ తరంగాలు, కంటికి కనబడే కాంతి తరంగాలు, అతి నీలలోహిత తరంగాలు, ఎక్స్-కిరణాలూ, గామా కిరణాలూ - వీటన్నిటిని కలిపి విద్యుదయస్కాంత వికిరణం అంటారు. (ఈ సందర్భంలో "తరంగాలు" అన్నా "కిరణాలు" అన్నా ఒక్కటే!) తరంగాలు అన్నిటికి తరచుదనం (frequency, f), తరంగం పొడుగు (wavelength, λ) ఉంటాయి. ఉదాహరణకి ఆకుపచ్చ కాంతి తరంగం సెకండు కాల వ్యవధిలో 600,000,000,000,000 సార్లు పైకి లేచి కిందకి పడుతుంది. లేదా, ఆకుపచ్చ కాంతి తరచుదనం, $f = 6 x 10^{14}$ Hz. లేదా, ఆకుపచ్చ కాంతి తరంగం పొడుగు λ = 500 నేనో మీటర్లు అని కూడా చెప్పవచ్చు.

కాంతి తరంగాల రూపంలోనే కాకుండా రేణువుల రూపంలో కూడా ప్రసరిస్తుందనేది గుళిక వాదంలో మరొక మౌలికమైన భావన అనుకున్నాం కదా. కాంతి రేణువులని తేజాణువులు (photons) అంటారు. ఒక తేజాణువులో ఎంత శక్తి (E) ఉంటుందో చెప్పడానికి E = h f అనే చిన్న సమీకరణం వాడతారు. ఇక్కడ h అన్నది ప్లేంక్ స్థిరాంకం. దీని విలువ $h = 6.63 x 10^{-34}$. ఈ సమీకరణాన్ని ఉపయోగించి ఆకుపచ్చ తేజాణువులో ఎంత శక్తి ఇమిడి ఉందో లెక్క కడితే $E = 3.6 x 10^{-19}$ జూల్స్ వస్తుంది. ఇక్కడ "జూల్స్" అన్నది శక్తిని కొలిచే కొలమానం. పొడుగుని అంగుళాలలో కొలిచినట్లు శక్తిని జూల్స్ లో కొలుస్తారు. కాగితం పొడుగు అంగుళాలలో కొలిస్తే సబబుగానే ఉంటుంది కానీ అమరావతి నుండి అమెరికాకి దూరాన్ని అంగుళాలలో కొలిస్తే సబబుగా ఉండదు. కనుక ఆకుపచ్చ తేజాణువులో శక్తిని

జూల్స్ లో కాకుండా “ఎలక్ట్రాన్ వోల్ట్” (electronvolt) అనే కొలమానం ఉపయోగించి రాస్తారు. ఈ కొత్త కొలమానంలో ఆకుపచ్చ కాంతి తేజాణువులో ఉరమరగా 2 ఎలక్ట్రాన్ వోల్టుల శక్తి ఉంటుంది.

6. రేణువులా? తరంగాలా?

బోర్ నమూనాతో పని జరుగుతోంది కానీ దానిలో చాల లొసుగులు, లోపాలు ఉండడంతో పరిస్థితి సంతృప్తికరంగా లేదు. ఈ పరిస్థితులలో గుళిక వాదానికి కొత్త మెరుపులు దిద్దినవారిలో ఆద్యులు ముగ్గురు: ఫ్రాంసులో విక్టర్ డిబ్రోయిలి, జెర్మనీలో వెర్నర్ హైజెన్బర్గ్ , ఆస్ట్రియాలో ఎర్విన్ ష్రోడింగర్. వీరి వాదాలు పటిష్టమైనవే అని ప్రయోగికంగా ఋజువులు చూపించినది ఇద్దరు: అమెరికాలో క్లింటన్ డేవిసన్, లెస్టర్ గెర్మర్.

మన చుట్టూ ఉన్న విశ్వంలో మన స్థూల దృష్టికి అగుపించే ప్రపంచాన్ని నూటన్ ప్రవచించిన సూత్రాలతో అర్థం చేసుకోవచ్చు. ఉదాహరణకి కారులో పెట్రోలు అయిపోయిందని అనుకుందాం. ఆగిపోయిన కారుని తొయ్యడానికి ఎంత బలం ఉపయోగించాలి అన్న ప్రశ్న ఉదయించినప్పుడు తడబాటు లేకుండా F = ma అనే నూటన్ సూత్రాన్ని ఉపయోగిస్తాం.

కానీ అణు ప్రపంచంలో నూటన్ సూత్రాలు పని చెయ్యవు. స్థూల ప్రపంచం ఖణీగా, స్ఫుటంగా అగుపిస్తుంది కాని సూక్ష్మ ప్రపంచం అంతా మసకే, స్పష్టత లేదు; నిశ్చయంగా ‘ఇది’ అని ఇదమిత్థంగా చెప్పలేము. కనుక కొత్త రకం ఆలోచనా పద్ధతి కావలసి వచ్చింది.

సంప్రదాయిక భౌతిక శాస్త్రంలో (అనగా, నూటనిక ప్రపంచంలో) ఒక వస్తువు స్థితి వర్ణించడానికి ఆ వస్తువు యొక్క స్థానం (position, x), దాని భారవేగం (momentum, p) తెలిస్తే చాలు. కానీ అణు ప్రపంచంలో ఒక వస్తువు స్థితి (state) వర్ణించడానికి స్థానం, భారవేగాల సమాచారం సరిపోదు. దీనికి కారణం ఏమిటంటే అణు ప్రపంచంలో రేణువులు గోళీలలా ప్రవర్తించవు. వాటి తీరే వేరు. స్థూల ప్రపంచంలో మనకి ఆసరాగా ఉన్న నమూనాలు సూక్ష్మ ప్రపంచంలో పని చెయ్యలేదు.

ఈ ఇబ్బందులని అర్థం చేసుకుందుకి చరిత్రలో కొంచెం వెనక్కి వెళ్లాలి. ఇంగ్లండులో నూటన్ (Newton, 1643 - 1727) కాంతి రేణువుల రూపంలో ఉటుందని ఒక వాదం లేవదీశాడు (Corpuscular theory). అదే రోజులలో హోయిగన్ (Huygens, 1629 – 1695) అనే డచ్చి దేశస్తుడు కాంతి తరంగాలు మాదిరి ఉంటుందని ఒక ప్రతి వాదం లేవదీశాడు. బతికున్నన్నాళ్లు కాంతి తత్త్వం యెడల విభేదాలతో ఇద్దరూ తగువులాడుకుంటూనే ఉండేవారు. థామస్ యంగ్ (Thomas Young, 1773 – 1829) అనే ఆసామీ, 1801 లో, చేసిన జంట-చిల్లుల ప్రయోగాల (double slit experiments) ఫలితంగా కాంతి తరంగాలు మాదిరే ఉంటుందని అప్పటికి రూఢీ అయింది. (బొమ్మ 1లో మొదటి బొమ్మ చూడండి.) కాంతి కెరటాలులా ఉన్నప్పుడే ఈ బొమ్మలో చూపిన ఫలితం సాధ్యం అవుతుంది.

కాంతి కెరటాలులా ఉంటుందని మేక్స్వెల్ కూడా అన్నాడు. లేదు, కాంతి రేణువులు లా కూడా ఉంటుందని అయిన్^స్టయిన్ అన్నాడు.(కాంతి రేణువులకి మరొకరు ఫోటానులు (తేజాణువులు) అని పేరు పెట్టేరు.) ఒక

కాంతిపుంజంలో తేజాణువులు ఎక్కువ ఉంటే ఆ కాంతిపుంజం ఎక్కువ ద్యుతితో ప్రకాశిస్తుందన్నాడు. కానీ ఒక తేజాణువులో నిబిడీకృతమైన శక్తి E ఆ తేజాణువుతో కూడిన తరంగపు తరచుదనం f మీద E = hf అనే సూత్రం ప్రకారం ఆధారపడి ఉంటుందన్నాడు. ఇక్కడ అయిన్^స్టయిన్ రెండు నాలికలతో మాట్లాడుతున్నాడు: ఒక పక్క కాంతి రేణువులు అంటున్నాడు, మరొక నోట తరంగాలు అంటున్నాడు!

విక్టర్ డిబ్రోలి (De Broglie) రాచ వంశంలో పుట్టి, రాజకీయాలలో ప్రవేశిద్దామనే ఉద్దేశంతో, మానవీయ శాస్త్రాలు అధ్యయనం చేసి చరిత్రలో బి. ఏ. పట్టా పుచ్చుకున్నాడు. తరువాత గణితం, భౌతిక శాస్త్రాల వైపు దృష్టి మళ్లించి మరొక పట్టా పుచ్చుకున్నాడు. ఇంతలో మొదటి ప్రపంచ యుద్ధం రావడంతో సైన్యంలో చేరి రేడియో విభాగంలో పని చేసి 1924 లో పి. ఎచ్. డి. పట్టా కోసం సిద్ధాంత గ్రంథం సమర్పించేడు. అందులో అయన ఒక మౌలికమైన ప్రశ్న వేసి దానికి సమాధానం వెతికేడు. ఏమిటా ప్రశ్న? “భారం లేని శక్తి గుళిక (energy quantum) అయిన ఫోటాను ఒక రేణువు వలె ప్రవర్తించినప్పుడు, భారం ఉన్న ఎలక్ట్రాను ఒక తరంగంలా ఎందుకు ప్రవర్తించకూడదు?” ఫోటాను (తేజాణువు) అంటే ఒక “కాంతి గుళిక” లేదా “శక్తి గుళిక.” కాంతి కెరటాల మాదిరి, గుళికల మాదిరి ఉంటుందని అనుకుంటున్నాము కదా. అలాంటప్పుడు పదార్థం (ఎలక్ట్రానులు కావచ్చు, గోళీలు కావచ్చు, బంతులు కావచ్చు) కెరటాల మాదిరి ఎందుకు ఉండకూడదు? ఒక ఎలక్ట్రాను భారం m అయి, దాని వేగం v అయితే, అది కెరటంలా ఉందనుకుంటే, దాని తరంగ దైర్ఘ్యం విలువ

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

అని ప్రతిపాదించేడు డిబ్రోలి. ఈ సిద్ధాంత గ్రంథంలో వెల్లడించిన ఫలితాలు మింగుడు పడక అధికారులు ఈ గ్రంథాన్ని అయిన్^స్టయిన్ కి పంపి అయన అభిప్రాయం అడిగేరు. అయన ఆమోద ముద్ర వెయ్యడమే కాకుండా చాల మెచ్చుకున్నారు.

విక్టర్ డిబ్రోలి ప్రతిపాదించిన వాదాన్ని ప్రాయోగికంగా బలపరచినది అమెరికాలో, బెల్ ప్రయోగశాలలో, 1927 లో, పని చేస్తూన్న డేవిసన్-గెర్మర్ ద్వయం! వారి గమ్యం డిబ్రోలి వాదాన్ని బలపరచడం కానే కాదు. ఎలక్ట్రాన్ ప్రవాహం నికెల్ ఫలకం మీద పడి ఎలా పరావర్తనం చెందుతుందో చూస్తున్నారు వారు. ఆ ప్రయోగంలో వారికి - అనుకోకుండా - ఎలక్ట్రానులు తరంగాల మాదిరి ప్రవర్తిస్తాయని ఋజువు దొరికింది. కనుక డిబ్రోలి 1929 లో నోబెల్ బహుమానం అందుకున్నాడు. పి. ఎచ్. డి పరిశోధన గ్రంథానికి నోబెల్ బహుమానం రావడం ఇదే మొదటి సారి! ఆఖరి సారి మాత్రం కాదు!

పదార్థం (matter) యొక్క రేణువులు కొన్ని సందర్భాలలో తరంగాల మాదిరి ప్రవర్తిస్తాయని చెప్పడమే కాదు. రేణువు చిన్నదయిన కొద్దీ దాని తరంగం పొడుగు (wavelength, λ) ఎక్కువ అవుతుందనిన్నీ, రేణువు జోరు తగ్గిన కొద్దీ దాని తరంగం పొడుగు ఎక్కువ అవుతుందనిన్నీ ఆయన చెప్పేరు. ఈ విషయాలని సంప్రదాయానుసారం రెండు సమీకరణాల ద్వారా రాస్తారు:

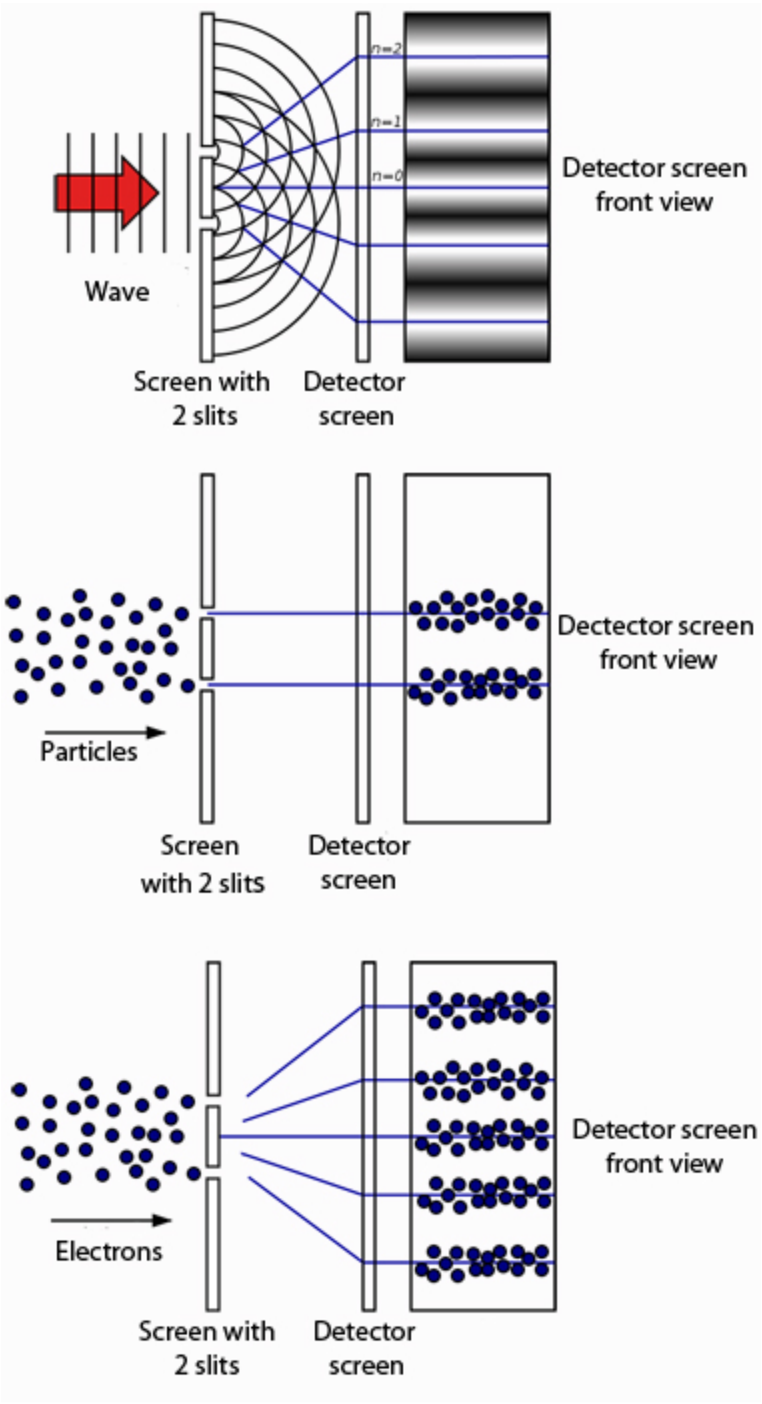
$$p = mv$$
$$\lambda = h/p$$

ఇక్కడ మొదటి సమీకరణం పదార్థం యొక్క “రేణువు తత్త్వాన్ని” వర్ణిస్తే, రెండవ సమీకరణం పదార్థం యొక్క “తరంగ తత్త్వాన్ని” వర్ణిస్తోంది. మొదటి సమీకరణంలో m అనేది రేణువు యొక్క గరిమ లేక భారం (mass), v అనేది రేణువు యొక్క వేగం. ఇక్కడ వేగం అనేది సదిశరాసి (vector); ఇది రేణువు యొక్క జోరు (speed)ని, రేణువు ప్రయాణించే దిశని కూడా సూచిస్తుంది. ఎడం పక్క ఉన్న p ని “ఊపు” లేదా భారవేగం (momentum = mv) అంటారు. ఈ భారవేగం కూడా సదిశరాసి అవుతుంది.

రెండవ సమీకరణంలో ఉన్న λ (lambda) తరంగం యొక్క పొడుగు, h అనేది ప్లేంక్ స్థిరాంకం (Planck's constant). ఈ రెండవ సమీకరణాన్ని చూడగానే భారవేగం ఎక్కువ ఉన్న రేణువులతో కూడిన తరంగాల పొడుగు తక్కువ ఉంటుందని అర్థం అవుతోంది కదా.

ఇంతకీ ఎలక్ట్రానులు (పదార్థం) తరంగాల రూపంలో ఉంటాయా? రేణువుల రూపంలో ఉంటాయా? జంట చిల్లుల ప్రయోగం మరొక సారి చేసి చూసేరు - ఈ సారి ఎలక్ట్రానులతో (బొమ్మ మరొక సారి చూడండి)! బొమ్మలో మీదనున్న బొమ్మలో కాంతి రెండు చిల్లుల గుండా ప్రవహించినప్పుడు తెర మీద చారలు కనిపించేయి. ఈ రకం చారల బొమ్మని ఇంగ్లీషులో interference bands అంటారు. ఒక చిల్లు లోంచి వెళ్లిన తరంగం మరొక చిల్లులోంచి వెళ్లిన తరంగంతో జోక్యం కలుగజేసుకోవడం వల్ల వచ్చిన చారలు కనుక దీనిని మనం తెలుగులో “జోక్యపు చారలు” అందాం. ఇదే చిల్లుల లోంచి రేణువులు ప్రయాణం చేస్తే “జోక్యపు చారలు” ఎలా ఉండాలో మధ్య బొమ్మలో చూపించేను. ఎలక్ట్రానులు రేణువులు అయితే “జోక్యపు చారలు” కూడా ఇదే విధంగా ఉండాలి. కాని ఎలక్ట్రానులతో ప్రయోగం చేసి చూస్తే అడుగున ఉన్న బొమ్మలో చూపినట్లు “జోక్యపు చారలు” మళ్లా కనిపించేయి. ఈ విడ్డూరపు ఫలితానికి కారణం అర్థం కాలేదు. కనుక డిబ్రోలీ చెప్పినట్లు ఎలక్ట్రానులు తరంగాలు లాగనూ ప్రవర్తిస్తాయి, రేణువులు లాగనూ ప్రవర్తిస్తాయి అని అంతా ఒప్పుకోక తప్పలేదు.

ఇది కొత్త తరం భౌతిక శాస్త్రం. పాత పద్ధతులని పక్కకి పెట్టాలి. ఈ సందర్భంలో ష్రోడింగర్ రంగ ప్రవేశం చేసేడు.



బొమ్మ. జగద్విఖ్యాతి చెందిన జంట చిల్లుల ప్రయోగం

7. ష్రోడింగర్ సమీకరణం చెప్పేది ఏమిటి?

1

ష్రోడింగర్ సమీకరణం గుళిక భౌతిక శాస్త్రానికి (quantum physics కి) ఆయువుపట్టు అంటే అతిశయోక్తి కాదు. ఈ గుళిక భౌతిక శాస్త్రాన్ని ఆసరాగా చేసుకునే కంప్యూటర్లు, లేసర్లు వంటి ఉపకరణాలు ఆవిర్భవించేయి. కనుక ఈ సమీకరణం చెప్పేది ఏమిటో అర్థం చేసుకుందుకు ప్రయత్నం చేద్దాం.

ఇది తేలికగా అర్థం అయే అంశం కాదు. కనుక గణితం సహాయంతో దీనిని కొంచెం ఓపికతో, వివిధ కోణములలో పరిశీలిద్దాం. గణితం అర్థం కాకపోయినా పర్యవసానం ఏమిటో అర్థం చేసుకుందుకి ప్రయత్నిస్తే కొంత ఫలితం దక్కుతుంది.

మొదటగా భౌతిక శాస్త్రం పదార్థం యొక్క, శక్తి యొక్క, వాటి మధ్య జరిగే సంకర్షణల యొక్క స్వరూప స్వభావాలని అధ్యయనం చేసే శాస్త్రం. శాఖోపశాఖలుగా విస్తరించిన ఈ శాస్త్రానికి సా. శ. పూ. 5 వ శతాబ్దపు ప్రాంతాలలో, యవనుల యాజమాన్యంలో, పునాదులు పడినప్పటికీ వాటి మీద కట్టిన భవంతి నూటన్ రోజులలో (సా. శ. 17 వ శతాబ్దం) పూర్తి అయిందని చెప్పవచ్చు. ఇంతవరకు సాధించిన ప్రగతిని ఒక్క గణిత సూత్రంలో ఇమిడ్చి చెప్పదలుచుకుంటే అది $F = ma$ అనే సమీకరణం. దీనినే నూటన్ రెండవ సూత్రం అంటారు. ఈ సూత్రం సహాయంతో ఒక భౌతిక వ్యవస్థ ఎప్పుడు, ఎక్కడ ఉందో తెలిస్తే, కొంత కాలం గడచిన తరువాత ఆ వ్యవస్థ ఎక్కడ ఉంటుందో, ఏ మార్గం గుండా ప్రయాణించి అక్కడికి చేరుకుందో లెక్క కట్టి చెప్పవచ్చు. ఈ రకం లెక్కలని ఆధారంగా చేసుకునే గ్రహాంతర ప్రయాణాలు చెయ్యగలుగుతున్నాం. దీనిని సంప్రదాయిక యంత్రశాస్త్రపు మూల సూత్రం అనవచ్చు.

ఈ సంప్రదాయిక యంత్రశాస్త్రం స్థూల ప్రపంచంలో పని చేసింది కానీ సూక్ష్మ ప్రపంచంలో పని చెయ్యలేదు. సూక్ష్మ ప్రపంచం అంటే అణువులు (atoms), పరమాణువులు (electrons, protons, photons, etc.), పరమాణు రేణువులు (sub-atomic particles like quarks), వగైరా సంచరించే ప్రపంచం. ఇది కంటికి కనబడని ప్రపంచం. ఈ సూక్ష్మ ప్రపంచంలో వాడుకకి నూటన్ రెండవ సూత్రం (అనగా, $F = ma$) వంటి సూత్రం మరొకటి కావలసి వచ్చింది. ఈ అవసరాన్ని శ్రోడింగర్ సమీకరణం నింపింది కనుక ఈ సమీకరణం గుళిక యంత్ర శాస్త్రానికి (quantum mechanics కి) ఆయువుపట్టు అయిపోయింది. గుళిక యంత్రశాస్త్రంలో అణుప్రమాణంలో ఉన్న ఒక వ్యవస్థ యొక్క స్థితిగతులు

నిర్ణయించడానికి ష్రోడింగర్ సమీకరణం ఉపయోగించి తరంగ ప్రమేయం (wave function) అనే అంశాన్ని లెక్కగడతాము. ఈ గుళిక యంత్ర శాస్త్రం (లేదా, గుళిక భౌతిక శాస్త్రం) సహాయంతోనే ఆధునిక అవసరాలైన ట్రాన్సిస్టర్లు, కంప్యూటర్లు, లేసర్లు, అంతర్జాలం, వగైరాలు సాధ్యపడ్డాయి కనుక ఈ కొత్త శాస్త్రానికి ఆయువుపట్టు లాంటి ష్రోడింగర్ సమీకరణాన్ని ఒక నఖచిత్రంలా పరిచయం చెయ్యడానికి ప్రయత్నం చేస్తాను.

ఈ ప్రయత్నం ఫలించాలంటే చదివేవారికి గణితంతో కొంత పరిచయం అత్యవసరం. కనుక గణిత సమీకరణాలు కనబడినప్పుడల్లా అవి అర్థం అవలేదని భయపడవద్దు. పైన F = ma అనే సమీకరణం చూపినప్పుడు అది అర్థం కాలేదని కంగారు పడ్డారా? లేదు కదా! అలాగే అంతకంటే గంభీరంగా కనిపించినంత మాత్రాన కంగారు పడవలసిన అవసరం లేదు. ఆ సమీకరణం ఏమి చెబుతున్నాదో తెలిస్తే చాలు.

ష్రోడింగర్ సమీకరణాన్ని అనేక ఆకారాలలో రాయవచ్చు. ఒక్కొక్క సందర్భంలో ఒక్కొక్క ఆకారం ఉపయోగపడుతుంది. ఉదాహరణకి, అన్నిటికంటే తేలికగా కనబడే ఆకారం ఈ దిగువ చూపిన విధంగా ఉంటుంది కానీ ఈ ఆకారం అర్భకులకి అర్థం అవడం కష్టం.

$$\widehat{H} | \psi > \quad = E \ | \psi >$$

ఈ సమీకరణం లో $| \psi >$ అనేది ఇందాక చెప్పిన తరంగ ప్రమేయాన్ని సూచిస్తుంది. E అనేది శక్తి (energy) ని సూచిస్తుంది. టోపీతో ఉన్న $\widehat{H}$ అనే దానిని హేమిల్టన్ కారకం (Hamiltonian operator) అంటారు.

ఈ సమీకరణంలో “కాలం” (time) కనబడటం లేదు. కాలక్రమేణా మారే పరిస్థితిని కూడా పరిగణనలోకి తీసుకుంటే ఈ సమీకరణం మరికొంచెం క్లిష్టం అవుతుంది:

$$i \bar{h} \frac{d}{dt} | \psi > \quad = E | \psi >$$

ఇంకా అనేక రకాలుగా రాయవచ్చు. వాటన్నిటిని పక్కకి పెట్టి ఈ సమీకరణాన్ని అర్భకులకి కూడా అర్థం అయేటట్లు సవరించి, తేలికపరచి, రాస్తే ఈ దిగువ చూపిన విధంగా ఉంటుంది:

$$-\frac{\bar{h}^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}\psi \;+\; V\psi \;=\; E\psi$$

ఈ సమీకరణం లో వైష్ణవనామంలా కనిపించే గ్రీకు అక్షరం పేరు “సై.” ఇందాక చెప్పిన తరంగ ప్రమేయం | ψ > ఇక్కడ చూపిస్తున్న ψ మన అవసరాల మేరకి ఒకటే అని నమ్మండి. దీని విలువ కట్టడం మన గమ్యం. దీని విలువ తెలిస్తే మనం అధ్యయనం చేస్తున్న సూక్ష్మ రేణువు, ఎప్పుడు, ఎక్కడ ఉందీ, ఏమి చేస్తుందీ, దాని అవతారం ఏమిటో, వగైరాలు అన్ని తెలుస్తాయి. సమీకరణం లో కనిపిస్తున్న మిగిలిన అంశాలన్నీ ఈ తరంగ ప్రమేయం విలువ నిర్ధారించడానికి ఉపయోగపడతాయి. నేను చదువుకునే రోజులలో నాకు మొట్టమొదట ఈ సమీకరణంతోటే పరిచయం అయింది.

ఈ సమీకరణంలో ఎడం పక్క రెండు పదాలు (terms), కుడి పక్క ఒక పదం ఉన్నాయి కదా. ఎడం పక్క ఉన్న మొదటి పదం మన వ్యవస్థ (system) యొక్క గతి శక్తి (kinetic energy) ని సూచిస్తుంది; అనగా చలనం వల్ల సంప్రాప్తి అయిన శక్తి. ఎడం పక్క ఉన్న రెండవ పదం మన వ్యవస్థ (system) యొక్క స్థితి శక్తి (potential energy) ని సూచిస్తుంది; అనగా స్థానబలం వల్ల సంప్రాప్తి అయిన శక్తి. ఈ రెండు కలపగా వచ్చేది మొత్తం శక్తి (total energy = E) అని కుడి వైపు పదం చెబుతున్నది. అనగా,

గతి శక్తి + స్థితి శక్తి = మొత్తం శక్తి

భౌతిక శాస్త్రంలో ఉన్న “శక్తి నిత్యత్వ నియమం” (law of conservation of energy) అనే మూల సూత్రం ప్రకారం శక్తి ఏ రూపంలో ఉన్నా “మొత్తం శక్తి “ (E) విలువ స్థిరంగా ఉంటుంది కానీ మారదు.

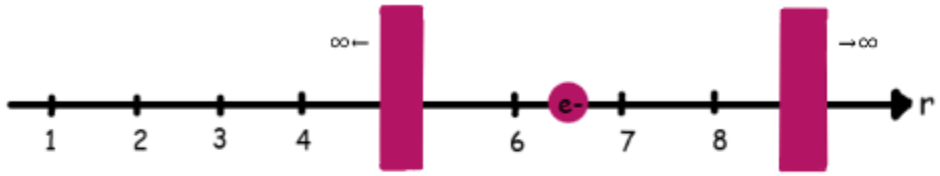
2

మనం అధ్యయనం చెయ్యబోతున్న భౌతిక వ్యవస్థ యొక్క నిజ పరిస్థితిని అర్థం చేసుకోవడం చాల శ్రమతో కూడిన పని కనుక విద్యార్థులకి మొట్టమొదట “తేలిక చేయబడ్డ” ఈ సమీకరణం పరిచయం చేస్తారు. నా విద్యార్థి దశలో ఈ సమీకరణాన్ని పరిష్కరిద్దామని కాగితం, కలం పట్టుకుని కుర్చునేసరికి ఇది కూడా ఒక గోముఖ వ్యాఘ్రం అని అర్థం అయింది. అదెలాగో చూద్దాం.

ముందుగా ఒక రేణువు (particle) ని ఊహించుకోండి. అది ఎడమకి-కుడికి (x-దిశలో), పైకి-కిందకి (అనగా, y-దిశలో), ముందుకి- వెనక్కి (z-దిశలో) - మూడు దిశలలో కదలగలదు కదా. ఈ మూడు దిశలని ఒకేసారి ఔపోసన పట్టాలంటే కష్టం కనుక, ప్రస్తుతానికి, మన రేణువు x-అక్షం మీద కేవలం

ఎడమకి, కుడికి మాత్రమే కదలగలదని అనుకుందాం. ఇక్కడ బొమ్మలో x-అక్షాన్ని కారణాంతరాలవల్ల r-అక్షం అని చూపించడం జరిగింది. ప్రస్తుతానికి ఇదే x-అక్షం అనుకోండి.

ఈ రేణువు ప్రస్తుతం r = 6 కి r = 7 కి మధ్యలో ఉన్నా ఇది ఇటు, అటు ఎంత దూరమైనా కదలగలదు. ఈ కదలికని అదుపులో పెట్టడానికి r = 5 దగ్గర, r = 7 దగ్గర దుర్భేద్యమైన గోడలు (impenetrable barriers) ఉన్నాయని అనుకుందాం. ఈ పరిస్థితిని ఈ దిగువ బొమ్మలో చూపెడుతున్నాను.



ఈ పరిస్థితిని "ఏకమితీయ పెట్టెలో ఉన్న రేణువు" (a particle in a one-dimensional box) అని అభివర్ణిస్తారు. ఇప్పుడు ఈ ఏకమితీయ పెట్టె లోపల V = 0 అనుకుందాం. ఇలా అనుకోళ్లు పెంచుకుంటూ పోతూ ఉంటే నిజ పరిస్థితికి దూరం అవుతున్నాం, నిజమే కానీ, గణిత సమీకరణం కాసింత లొంగుబాటులోకి వస్తోంది. ఇప్పుడు పెట్టె లోపల మన సమీకరణం ఇలా ఉంటుంది:

$$-\frac{\bar{h}^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}\psi + 0 = E\psi$$

దీన్ని తిరగ రాస్తే

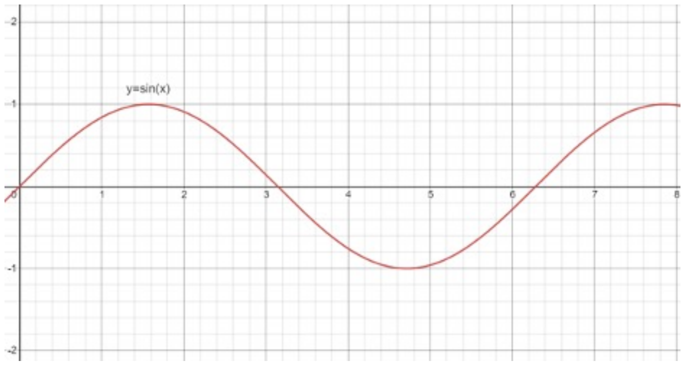
$$\frac{d^2}{dx^2}\psi = -\frac{2m}{\bar{h}^2}E\psi$$

ఇక్కడ కుడి పక్క హారంలో కనిపిస్తున్న $\bar{h}$ అనే అక్షరం ఒక స్థిరాంకం. లవంలో కనిపిస్తున్న 2 కూడా స్థిరాంకమే. లవంలో కనిపిస్తున్న m మన రేణువు యొక్క గరిమ (mass) కనుక అది కూడా స్థిరాంకమే. చిట్టచివరికి E = మొత్తం శక్తి కనుక అది మారదు. కనుక వీటన్నిటిని గుత్తగుచ్చి k^2 అని రాద్దాం. ఇప్పుడు మన సమీకరణం

$$\frac{d^2}{dx^2}\psi \;=\; -\,k^2\,\psi\,; \quad k^2 = \frac{2m}{\bar{h}^2}\,E$$

ఈ రకం సమీకరణాన్ని అవకలన సమీకరణం (differential equation) అంటారు. ఇది అర్థం అవ్వాలంటే కలన గణితం (calculus) లో కాసింత ప్రతిభ ఉండాలి. నేను ఇంజనీరింగు కళాశాలలో చేరేవరకు ఈ రకం సమీకరణాలు పరిచయం కాలేదు. కనుక పెద్ద గొడవ చెయ్యకుండా ఈ సమీకరణాన్ని సాధిస్తే వచ్చే ఫలితమే మన తరంగ ప్రమేయం ψ అని చెప్పి ముక్తాయిస్తాను.

పైన చూపిన అవకలన సమీకరణాన్ని ఓపికతో పరిష్కరిస్తే $\psi \;=\; \sin kx$ అనే పరిష్కారం వస్తుంది. దీని ఆకారాన్ని గ్రాఫు కాగితం మీద గీసి చూస్తే నీళ్ళల్లో కెరటంలా పైకి, కిందకి ఉగిసలాడుతూ కనిపిస్తుంది. కెరటాన్ని తరంగం అని కూడా అంటారు కనుక దీనికి "తరంగ ప్రమేయం" (wave function) అని పేరు పెట్టేరు. దీని ఆకారం ఈ దిగువ బొమ్మలో చూపెడుతున్నాను. "పెట్టెలో మన రేణువు ఎక్కడ ఉంది?" అన్న ప్రశ్నకి సమాధానం చెప్పవలసి వచ్చినప్పుడు ఈ బొమ్మ ఉపయోగపడుతుంది: "తరంగం ఎత్తు" ఎక్కడ ఎక్కువగా ఉందో అక్కడ మన రేణువు "కనబడడానికి" సంభావ్యత ఎక్కువ ఉంది" అని చెబుతారు. (ఇక్కడ కాస్త కిట్టించి మాట్లాడుతున్నాను!)



బొమ్మ: ష్రోడింగర్ సమీకరణానికి ఒక పరిష్కారం

ఇప్పటికి సగం కథ అయింది. ఇంతవరకు గణితంతో చెలగాటాలు జరిగేయి. ఇప్పుడు ఈ గణితంతో భౌతిక శాస్త్రాన్ని జోడించాలి. అదెలాగో చూద్దాం.

ఒక ఏకమితీయ పెట్టెలో ఉన్న మన రేణువు (our particle in a one-dimensional box) కి ఇటు, అటు, అనగా x = 5 దగ్గర, x = 7 దగ్గర దుర్భేద్యమైన గోడలు (impenetrable barriers) ఉన్నాయని అనుకున్నాం కదా. గోడలు దుర్భేద్యం కనుక మన తరంగ ప్రమేయం గోడల లోపలకి చొరబడలేదు. అంటే గోడల లోపల తరంగ ప్రమేయం విలువ నశించాలి. గోడ "లోపల" నశించాలంటే గోడలని "చేరుకునే వేళకి" - అనగా x = 5 దగ్గర, x = 7 దగ్గర - తరంగ ప్రమేయం విలువ సున్నాకి చేరుకోవాలి. అలా జరగకపోతే తరంగ ప్రమేయపు నునుపుతనానికి (smoothness) భంగం వస్తుంది. అనగా, తరంగ ప్రమేయంలో విచ్ఛిన్నత లేదా తెంపు (discontinuity) వస్తుంది. ఈ పరిస్థితిని గణిత శాస్త్రం ఒప్పుకోదు. ఈ తర్కం ప్రకారం గోడ సరిహద్దుల దగ్గర (అనగా, x = 5 దగ్గర, x = 7 దగ్గర) తరంగ ప్రమేయం విలువ 0 అయి తీరాలి. ఈ రకం అంక్షలని ప్రహరాంక్షలు (boundary conditions) అంటారు.

ఈ సమస్యని గణిత పరిభాషలో తిరగ రాద్దాం. మన తరంగ ప్రమేయం $\psi = \sin kx$. దీని విలువ x = 0 దగ్గర x = a దగ్గర 0 అవాలి. ఇది ఎలా సాధ్యమో చూద్దాం.

x = 0 అయినప్పుడు $\psi = \sin k(0) = \sin(0) = 0$. ఇక్కడ $\sin(0)$ విలువ ఎల్లప్పుడూ 0 అవుతుంది కనుక లెక్క సరిపోయింది.

x = a అయినప్పుడు $\psi = \sin k(a) = 0$? ఇక్కడ $\sin k(a)$ విలువ ఎల్లప్పుడూ 0 అవాలని లేదు. కొన్ని సందర్భాలలోనే అవుతుంది. ఏయే సందర్భాలు? ఒక సందర్భం $ka = \pi = 180°$ అయినప్పుడు. అనగా,

$$\sqrt{\frac{2mE}{\bar{h}^2}}\, a = \pi$$

దీనిని కాస్త కింద, మీద పెట్టగా, $ka = \pi$ అయినప్పుడు మన రేణువు యొక్క శక్తి

$$E = \frac{\bar{h}^2 \pi^2}{2ma^2}$$

పై సమీకరణాల్లో $sin\, k(a) = 0$ మరొక సందర్భంలో కూడా అవుతుంది. ఉదాహరణకి $ka = 2\pi$ అయినప్పుడు మన రేణువు శక్తి

$$E = 4\frac{\bar{h}^2\pi^2}{2ma^2}$$

ఆ మాటకొస్తే $sin\, k(a) = 0$ ఇంకా అనేక సందర్భాలలో అవుతుంది. ఉదాహరణకి
$ka = 3\pi, 4\pi, ... n\pi$ అయినప్పుడు.

అనగా మన సమీకరణానికి అనేక పరిష్కారాలు ఉన్నాయి. ఒకొక్క పరిష్కారం దగ్గర మన రేణువు ఒకొక్క శక్తితో ఉంటుంది. అనగా రెండు గోడల మధ్య బంధించబడ్డ రేణువు కొన్ని నిర్దిష్టమైన శక్తులని మాత్రమే కలిగి ఉండగలదు! ఈ నిర్దిష్టమైన శక్తులని శక్తి స్థావరాలు (energy levels) అంటారు. ఈ ఈ రకంగా శక్తి స్థావరాలని నిర్దేశించడాన్ని "గుళికీకరించడం" (quantization) అంటారు.

ఇదే గణితాన్ని ఉదజని అణువు మీద ప్రయోగించినప్పుడు ఆ అణుగర్భం చుట్టూ "తిరుగుతూన్న" ఎలక్ట్రానులు నిర్దేశించబడ్డ శక్తి స్థావరాలలో మాత్రమే ఉండగలవని గుళిక శాస్త్రం ఉద్ఘాటిస్తున్నాది! ఈ గమనిక విప్లవాత్మకమైన గమనిక!

8. ఆర్బిట్ (orbit) కి ఆర్బిటల్ (orbital) కి మధ్య అర్థంలో తేడా

ఆర్బిట్ (orbit), ఆర్బిటల్ (orbital) అనే ఈ రెండు మాటలు గుళిక భౌతిక శాస్త్రం (quantum physics) లో తారసపడతాయి. అణువు (atom) యొక్క అంతర్గత నిర్మాణం అర్థం చేసుకుందుకు ప్రయత్నాలు జరుగుతున్న రోజులవి. మొదట్లో అణువులో ధనావేశము (positive charge), ఋణావేశము (negative charge) సమానమైన పాళ్లల్లో ఉంటాయనిన్నీ, అందుచేత నికరంగా అణువు ఏ రకమైన ఆవేశము ప్రదర్శించకుండా తటస్థంగా ఉంటుందనిన్నీ నిర్ధారించేరు. బాగానే ఉందయ్యా! ఈ రెండు రకాల ఆవేశాలు అణుగర్భంలో ఎలా కలిసి మెలిసి ఉంటాయన్న ప్రశ్న ఉదయించింది. ఈ ప్రశ్నకి సమాధానంగా, "సగ్గుబియ్యం పరమాన్నంలో పాలు (ఋణావేశము), సగ్గుబియ్యం (ధనావేశము) కలిసిమెలసి ఉన్నట్లు ఉంటాయని ఒకరు ప్రతిపాదించారు. ఈ నమూనాని ఇంగ్లీషులో plum pudding model అని పిలిచేవారు, మనం తెలుగులో సగ్గుబియ్యం పరమాన్నం నమూనా అన్నాము.

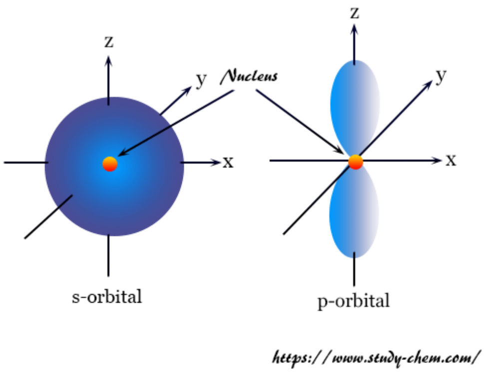
ఈ నమూనా మంచిదీ కాదీ నిర్ధారించుకోడానికి రూథర్ఫర్డ్ అనే ఆసామి ఒక ప్రయోగం చేసి చూసేడు. ఆ ప్రయోగం ఏమిటో వివరంగా ఇక్కడ చెప్పను కానీ, ఆ ప్రయోగం ఏమిటి చెప్పిందంటే అణువులోని ధనావేశం అంతా అణుగర్భంలో కేంద్రీకృతమై ఉంటుందని చెప్పింది; మామిడిపండు మధ్యలో టెంక మాదిరి అనుకోండి. మరి ఋణావేశము సంగతి? టెంకకి, తొక్కకి మధ్య ఉన్న గుజ్జులా ఉంటుందా? వివరాలు, కారణాలు చెబుతూ కూరుచుంటే ఇదొక పాఠంలా తయారయి బోరు కొడుతుంది. కనుక టూకీగా తేల్చుతాను. ఈ సందర్భంలో నీల్స్ బోర్ అనే ఆసామి వచ్చి ఒక విప్లవాత్మకమైన సరికొత్త నమూనా ప్రతిపాదించేడు. ఈ బోర్ నమూనా "అణువు నిర్మాణం మన సూర్య మండలాన్ని పోలి ఉంటుంది" అని ప్రతిపాదించింది. అనగా అణుగర్భంలో - సూర్యమండలంలో సూర్యుడి మాదిరి - ధనావేశం కేంద్రీకృతమై ఉంటుందనిన్నీ, ఆ గర్భం చుట్టూ - గ్రహాల మాదిరి - ఋణావేశముతో ఉన్న ఎలక్ట్రానులనే పరమాణువులు పరిభ్రమిస్తూ ఉంటాయనిన్నీ ఉటంకించేడాయన. ఈ నమూనాని Bohr's planetary model అంటారు. ఈ నమూనాలో ఎలక్ట్రానులని కేంద్రం చుట్టూ తిరుగుతున్న చిన్న బంతులులా ఊహించుకుంటాం. గ్రహాలు తిరిగే మార్గాన్ని ఇంగ్లీషులో orbit అంటారు. ఎలక్ట్రానులు తిరిగే మార్గాన్ని కూడా orbit అనే పిలవడం మొదలుపెట్టేరు.

దరిమిలా ఇంకా పరిశోధనలు చెయ్యగా తెలుసుకున్నది ఏమిటంటే (1) గ్రహాలు తిరుగుతున్నట్లు ఎలక్ట్రానులు ఒక నిర్దిష్టమైన మార్గం వెంబడి ప్రయాణం చెయ్యవనిన్నీ, (2) ఆ మాటకొస్తే నిజానికి ఎలక్ట్రానులు బంతులు లా ఉండనే ఉండవనిన్ని! మరయితే ఎలక్ట్రానులు ఎలా ఉంటాయిట? కేంద్రం చుట్టూ ఒక మేఘంలా అలుముకుని ఉంటాయిట! ఆ మేఘానికి ఒక నిర్దిష్టమైన ఆకారం ఉండదుట; అనుక్షణం ఆ "శక్తి మేఘం" యొక్క ఆకారం అలా మారుతూనే ఉంటుందిట. కనుక ఈ

సందర్భంలో ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉందో చెప్పడానికి orbit అనే ఇంగ్లీషు మాట నప్పదు. ఎందుకంటే orbit అనేది ఒక నిర్దిష్టమైన మార్గాన్ని సూచిస్తుంది. (An orbit is a bound path around an object.) కనుక ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉందో చెప్పడానికి కొత్త మాట కావాలి. తెలుగులో ఇటువంటి సందర్భం ఎదురైతే ఏమిటి చేస్తారు? “అదిగో! అమెరికాలో వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు అనే పిచ్చోడు ఒకడు ఉన్నాడు. కొత్త కొత్త మాటలు ప్రయోగాత్మకంగా తయారు చేసి వాడుతూ ఉంటాడు. వాడిని అడగండి!” అంటారు కదా. అలాగే orbit కి బదులు మరొక మాట ఏమైతే బాగుంటుంది అని ఆలోచించి దానికి orbital అని పేరు పెట్టేరు. ఈ orbital అనే మాట అనుక్షణం మారుతున్న ఆ ఎలక్ట్రాను మేఘం ఏ ఆకారంలో ఉందో చెబుతుంది. (An **orbital** is a wave function corresponding to a stationary state of the electron. These stationary states are obtained by solving the time-independent Schrödinger equation.)

Orbit అనే మాటని తెలుగులోని కక్ష్య, చారగతి, వివర్తకం, భచక్రం అనే మాటలతో పోల్చవచ్చు. Orbital ని తెలుగులో ఏమంటే బాగుంటుంది? Orbit అనేది ఒక మార్గాన్ని సూచించే గీత లాంటిది. Orbital అనేది స్థానాన్ని సూచించే ఒక స్థావరం - ఒక విస్తృతమైన చారగతి లేదా “విగతి”; ఒక ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉందో సూచించడానికి వాడే మాట. ఇటుపైన orbit ని గతి అనిన్నీ, orbital ని విగతి అనిన్నీ అందామా?

ఉదాహరణకి “ఉదజని అణువులో ఉన్న ఒకే ఒక ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉంది? “ అనే ప్రశ్నకి సమాధానంగా ఈ దిగువ చూపిన బొమ్మ లాంటి బొమ్మని గీసి చూపుతారు. ఈ బొమ్మలో ఎడమ వైపు ఉన్నది స్థబ్దుగా, చలాకీతనం లేకుండా, ఉన్న ఎలక్ట్రాను (electron in a ground state) ఎక్కడ ఉంటుందో చెబుతోంది. “గుండ్రంగా, ముదురు నీలం రంగు ఉన్న ప్రదేశంలో ఎలక్ట్రాను ఎక్కడయినా కనబడవచ్చు కానీ లేత నీలి రంగు ఉన్న చోట (అనగా, కేంద్రానికి దగ్గరగా) కనబడే సావకాశం తక్కువ” అని చెబుతోంది. ఇదే ఎలక్ట్రాను కొంచెం ఉత్తేజిత స్థితిలో ఉన్నప్పుడు ఎక్కడ కనబడే సావకాశం ఉందో రెండవ బొమ్మ చెబుతోంది.



బొమ్మ: (గూగుల్ సౌజన్యంతో) విగతి (orbital) ఆకారాలలో రెండింటిని ఇక్కడ చూపుతున్నాను.

ఈ రకం బొమ్మలు గియ్యడం కంప్యూటర్లు వచ్చిన తరువాత సులభం అయింది కానీ, మేము చదువుకునే రోజులలో కాగితం, కలం పుచ్చుకుని రాత్రంతా శ్రమపడి శ్రోడింగర్ సమీకరణాన్ని పరిష్కరించగా వచ్చిన తరంగ ప్రమేయం (wave function) ని బొమ్మ రూపంలో గీసేసరికి తల ప్రాణం తోకకి వచ్చేది.

ఈ కథ క్లుప్తత కోసం టూకీగా తెల్చేయ్యడం జరిగింది. నిజానికి అసలు కథ చాల సంక్లిష్టం. గణితం నేర్చుకుని పరిశ్రమ చెయ్యాలి.

9. గుళిక వాదం (Quantum theory) లో స్పిన్ (spin)

ముందుకి కదిలే ముందు ఇంగ్లీషులో తారసపడే మూడు సాధారణమైన మాటలకి భౌతిక శాస్త్రంలో ప్రత్యేకమైన అర్థాలు ఏమిటో చూద్దాం. బొంగరం గిర్రున తిరగడం చూసే ఉంటారు. ఆ రకం తిరుగుడుని ఇంగ్లీషులో spin అని కానీ rotation అని కానీ అంటారు. మన అనుభవానికి అందదు కానీ మన భూమి కూడా ఈ రకం కదలికని కలిగి ఉంది; దీన్ని భూ భ్రమణం అంటారు. మనం ఇంటి దగ్గర పూజ చేసినప్పుడు "ఆత్మ ప్రదక్షిణం" చేస్తాం. అంటే మనలో మనమే కుడి వైపు గుండ్రంగా తిరుగుతాం. ఈ రకం కదలిక కూడా భూ భ్రమణం లాంటిదే. ఈ కదలికనే ఇంగ్లీషులో rotation అంటారు. భూమి 24-గంటల భ్రమణం తో పాటు సూర్యుడి చుట్టూ 365-రోజుల ప్రదక్షిణ (revolution) కూడా చేస్తోంది. Earth rotates (spins) on its own axis, producing the 24-hour day. Earth also revolves about the Sun, producing the 365-day year. దీన్ని ప్రదక్షణం అందాం.

ఈ సందర్భంలో momentum అనే ఇంగ్లీషు మాటని ప్రవేశపెట్టి, దాని అర్థం కూడా చెబుతాను. ఒక శాల్తీ గరిమ (mass) m అనుకుందాం. ఆ శాల్తీ ఒక సరళరేఖ వెంబడి v అంత వేగం (velocity) తో ప్రయాణం చేస్తున్నదనుకుందాం. ఇప్పుడు ఆ శాల్తీ యొక్క momentum = mv = mass x velocity అని నిర్వచనం! (భౌతిక శాస్త్రంలో moment అన్న మాటకి ఒక అర్థం, momentum అన్న మాటకి వేరొక అర్థం ఉన్నాయని గమనించునది!) ఈ momentum ని తెలుగులో ఏమనాలి? దీనికి భారగతి, రయజాతం, ద్రవ్యవేగం, ఉద్వేగం, మొదలైన పేర్లు నా నిఘంటువులో ఇచ్చాను. మనం, మాటవరసకు, "ఉద్వేగం" అందాం. మన శాల్తీ తిన్నగా ఒక సరళ రేఖ వెంబడి కదులుతున్నాది కనుక దీనిని "సరళ ఉద్వేగం" (linear momentum or simply, momentum) అని కూడా అనొచ్చు. ఇప్పుడు మన శాల్తీ తిన్నగా సరళ రేఖ మీద కాకుండా గుండ్రంగా తిరుగుతూ ఉంటే? అప్పుడు ఆ శాల్తీకి సరళ ఉద్వేగానికి బదులు కోణీయ ఉద్వేగం (angular momentum = mass x angular velocity) ఉంటుంది. ఈ రకం కోణీయ ఉద్వేగం ఆత్మ ప్రదక్షిణ వల్ల సంక్రమిస్తే దానిని "ఆత్మభ్రమణం వల్ల కలిగే కోణీయ ఉద్వేగం" లేదా టూకీగా "భ్రమణ కోణీయ ఉద్వేగం" (spin angular momentum) అంటారు. ప్రదక్షణం చెయ్యడం వల్ల కలిగే కోణీయ ఉద్వేగం అయితే దానిని "ప్రదక్షణ కోణీయ ఉద్వేగం" (orbital angular momentum) అంటారు.

ఎలక్ట్రానుల వంటి అతి సూక్ష్మమైన రేణువుల స్థితిగతుల్ని అర్థం చేసుకుంటున్న కొత్త రోజుల్లో భౌతిక శాస్త్రవేత్తలు అనేక రకాల నమూనాలని ఉపయోగించేవారు. ఇవి కేవలం నమూనాలు మాత్రమే; అనగా మన కంటికి కనబడని సూక్ష్మమైన రేణువుల నిజ స్వరూపాన్ని అర్థం చేసుకుందుకు ఊతం ఇచ్చేవి

మాత్రమే! ఈ రకం నమూనాలలో ప్రసిద్ధికెక్కిన ఒక నమూనా పేరు “బోర్ నమూనా.” దీనిని నీల్స్ బోర్ అనే ఆసామి ప్రతిపాదించేడు కనుక అయన గౌరవార్ధం ఆ పేరు పెట్టేరు. ఈ నమూనాలో అణువు (atom) మన సూర్య మండలంలా ఉంటుందని ఉహించుకున్నాడాయన. ఈ నమూనా కేంద్రంలో ఎక్కువ భారమైన ప్రోటానులు, నూట్రానులు ఉంటాయి. ఆ కేంద్రం చుట్టూ - గ్రహాల మాదిరి - ఎలక్ట్రానులు తిరుగుతూ ఉంటాయి. (Electrons revolve around the nucleus.)

బోర్ నమూనా ప్రాచుర్యం పొందుతున్న రోజులలో అది అనేక ఇబ్బందులకు గురి అయింది. వీటన్నిటిని అధిగమించడానికి శ్రోడింగర్ (Schroedinger) అనే ఆసామి మరొక నమూనాని ప్రతిపాదించేడు. ఈ నమూనా ప్రకారం అణువులో ఎలక్ట్రానులు సూర్యమండలంలో గ్రహాల మాదిరి, గుండ్రటి బంతులులా, ఉండనే ఉండవు. అవి అణుకేంద్రం చుట్టూ ఒక మేఘంలా అలుముకుని ఉంటాయి. అయినా సరే ప్రయోగం చేసి చూసినప్పుడు ఈ మేఘం భ్రమణ కోణీయ ఉద్వేగం అనే లక్షణాన్ని, ప్రదక్షిణ కోణీయ ఉద్వేగం అనే లక్షణాన్ని ప్రదర్శించడం మానలేదు. (పిల్ల చచ్చినా పురిటి వాసన పోలేదంటారే, అలాగన్నమాట!) అనగా, ఎలక్ట్రాను బొంగరంలా గిర్రుమని తిరగకపోయినా సరే ఆ ఎలక్ట్రాను మేఘానికి ఆ “తల తిరుగుడు” లక్షణం పోలేదన్నమాట! ఆ మాటకొస్తే ఈ “తల తిరుగుడు” (లేదా spin) అనేది ఎలక్ట్రాను లక్షణాలలో అతి ముఖ్యమైన లక్షణం అని తేలింది. ఉత్తరోత్తర్యా ఈ “తల తిరుగుడు” విశిష్ట సాపేక్ష వాదం (Special Theory of Relativity) ప్రభావం వల్ల సంక్రమించిందని అర్థం అయింది. ఆ వివరాలు ఇక్కడ ప్రస్తావించడం కుదరదు.

ఈ తలతిప్పు లక్షణం అనేక సూక్ష్మ రేణువులు కూడా ప్రదర్శిస్తాయి. మిగిలినవాటి సంగతి పక్కకి పెట్టి ఇక్కడ కేవలం ఎలక్ట్రానుల తిప్పు (spin) సంగతే చూద్దాం. పైత్యం చేసి తల తిరిగితే మనం డాక్టరు దగ్గరకి వెళతాం. “మంచం మీదనుండి లేస్తే గదంతా గిర్రుమని తిరుగుతోందండి!” అని చాడీ చెబుతాం. “గది ఎడం నుండి కుడి వైపు తిరుగుతోందా? కుడి నుండి ఎడమ వైపు తిరుగుతోందా?” అని డాక్టరు అడిగితే “ఇదేమి తలతిరుగుడు ప్రశ్న?” అని చిరాకు పడమూ? కానీ ఎలక్ట్రానుల ఎడల ఇది చాల ముఖ్యమైన ప్రశ్న! ఎలక్ట్రానులకి రెండు రకాల భ్రమణాలు (spins) ఉన్నాయి. వీటికి “ఎడం నుండి కుడి వైపు తిరిగే తిప్పు” (లేదా, ఎగువ భ్రమణం, spin up), “కుడి నుండి ఎడం వైపు తిరిగే తిప్పు” (లేదా, దిగువ భ్రమణం, spin down) అని పేర్లు పెట్టేరు. వీటి చూపే విధానం ఈ దిగువ బొమ్మలో చూపెడుతున్నాను.

$|\uparrow\rangle$ = spin up → clockwise rotation

$|\downarrow\rangle$ = spin down → anticlockwise rotation

ఇంతకి చెప్పొచ్చేది ఏమిటంటే ఎలక్ట్రానుకి ఉండే ఈ తిప్పు (భ్రమణం) లక్షణం వల్ల "గణితపు కళ్ళతో చూసేవాళ్ళకి" ఎలక్ట్రాను అనుఘడి (clockwise) దిశలో కానీ, ప్రతిఘడి (anticlockwise) దిశలో కానీ భ్రమణం చేస్తున్నట్లు భ్రమ కలుగుతుంది. కానీ "ఏ దిశలో భ్రమణం జరుగుతోంది?" అని ప్రశ్నిస్తే గోడ మీద పిల్లిలా "రెండు దిశలలోను" అని సమాధానం వస్తుంది. పోనీ తాడో, పేడో తేల్చుకుందామని ప్రయోగం చేసి "పరికరపు కళ్ళ సహాయంతో" చూడడానికి ప్రయత్నం చేస్తే రెండింటిలోనూ ఏదో ఒక స్థితిలో స్థిరపడిపోతుంది. ఉదాహరణకి ఎలక్ట్రాను ప్రస్తుతం ఏ స్థితిలో ఉంది (ఎగువ తిప్పా? దిగువ తిప్పా?) అని ప్రశ్నిస్తే, దానికి సమాధానంగా ఈ దిగువ చూపిన సమీకరణం రావచ్చు:

$$|\psi\rangle = \frac{\sqrt{3}}{2}|\uparrow\rangle + \frac{1}{2}|\downarrow\rangle$$

దీనిని అర్థం చేసుకోవడం ఎలా? ఎగువ భ్రమణం స్థాయిలో ఉండే సంభావ్యత $(\frac{\sqrt{3}}{2})(\frac{\sqrt{3}}{2})$ = ¾. దిగువ భ్రమణం స్థాయిలో ఉండే సంభావ్యత $(\frac{1}{2})(\frac{1}{2})$ = ¼ . కనుక మూడింతులు ముప్పాతిక ఎలక్ట్రాను ఎగువ స్థాయిలో కనిపిస్తుంది.

ఎలక్ట్రానులు ప్రదర్శించే తలతిప్పు నిజామా? భ్రమా? ఇది నిజమేనని రుజువు చేసిన ప్రయోగం పేరు Stern-Gerlach experiment. దీని గురించి మరొక సందర్భంలో ఆలోచిద్దాం.

10. ష్రోడింగర్ పిల్లి అంటే ఏమిటి?

ష్రోడింగర్ పిల్లి అనేది ఒక స్ఫురణ ప్రయోగం (thought experiment), అనగా ఇది కేవలం ఊహాజనితమైన ప్రయోగం. ఈ ప్రయోగం చెయ్యడానికి ష్రోడింగరూ అక్కర లేదు, పిల్లీ అవసరం లేదు, ప్రయోగశాలతో పని లేదు. పడక కుర్చీలో వాలి, ఆలోచించగలిగే శక్తి ఉంటే చాలు.

భౌతిక శాస్త్రంలో ఆధునిక దృక్పథంతో గుళిక వాదం (Quantum Theory) ప్రవేశించిన సందర్భంలో ఒక విషమ సమస్య ఎదురయింది. "ఈ సమస్య ఎలా ఉందంటే..." అంటూ ష్రోడింగర్ (Erwin Schrödinger, 1887 – 1961) ఇచ్చిన ఉపమానాన్నే "ష్రోడింగర్ పిల్లి" అని అభివర్ణిస్తారు.

రజ్జుసర్ప భ్రాంతి అనే పదబంధం వినే ఉంటారు. రజ్జువు అంటే తాడు, సర్పం అంటే పాము కనుక రజ్జు సర్ప భ్రాంతి అంటే తాడుని పామనుకోవడం. చీకట్లో నడుస్తూన్నప్పుడు కాలికి ఏదో పొడుగ్గా, మెత్తగా తగులుతుంది. అది పామేమో అని భ్రాంతిపడి, భయపడతాము. గుండె దడదడ కొట్టుకుంటుంది. అది కేవలం తాడు మాత్రమే అయితే బాగుండిపోతుంది అని మనస్సులో దేవుడికి దండం పెట్టుకుంటాం. చేతిలో దీపం ఉంది. ఆ దీపాన్ని పాదాల మీద వేసి చూస్తే నిజం తేలిపోతుంది. కానీ ఆ దీపం వేసి చూసేవరకు కాలి కింద పడినది ఏమిటి? తాడు, పాము - రెండూ నిజాలే! అనగా, తాడు, పాము అనే రెండు స్థితులు ఉపరిస్థాపకాలు (superposition of states) అన్నమాట. దీపం వేసి చూడగానే అది కేవలం తాడు మాత్రమే అని తెలుసుకున్నప్పుడు ముందు పడ్డ భయం అంతా మటుమాయం అయిపోతుంది. ఇక్కడ "దీపాన్ని పాదాల మీద వేయడం" అన్నది ప్రయోగం. ఈ ప్రయోగం జరిగిన తరువాత "తాడా? పామా?" అని రెండు దిశలలో పరిగెడుతున్న మనస్సు కుదుటపడి అది తాడు మాత్రమే అని నిశ్చయించుకుంటుంది. అప్పుడు మనస్సులో పాముకి ఇహ చోటు లేదు. అనగా, అంతవరకు ఉపరిస్థాపకాలుగా మన మనస్సులో తిష్ఠ వేసుకున్న రెండు స్థితులూ ఒకే స్థితిలోకి కూలిపోయి (అనగా, collapsed states అయిపోయి) మనకి తాడుగానో, పాముగానో కనిపిస్తుంది.

ఆధునిక భౌతిక శాస్త్రంలో ఇటువంటి పరిస్థితి ఒకటి ఎదురవుతుంది. సృష్టిలో అణువు (atom) కంటే చిన్నది ఒకటి ఉంది; దాని పేరు ఎలక్ట్రాను. ఇది కంటికి కనబడనంత చిన్నది. కానీ ఉండడం ఉంది. దీని ఉనికిని గణితపరంగా వర్ణించగలం. మొదట్లో ఇది చిన్న నలుసు లేదా రేణువు (particle) లా ఉంటుందనుకునేవారు. అప్పుడు ఆ రేణువు ఎక్కడ ఉంది? ఎంత జోరుగా కదులుతోంది? ఎంత శక్తిమంతంగా ఉంది? వగైరా ప్రశ్నలు పుడతాయి కదా? వీటన్నిటిని గుత్తగుచ్చి గణితపరంగా వర్ణించడానికి సంప్రదాయిక భౌతిక శాస్త్రం (classical physics) లో ఏ ఇబ్బందీ లేదు. కానీ గుళిక

వాదంలో పదార్థానికి రెండు రకాల అస్తిత్వాలు ఉంటాయి: పదార్థం (matter) రేణువుల రూపంలో ఉండొచ్చు, తరంగాల రూపంలో ఉండొచ్చు. తరంగం రూపంలో ఉన్న ఎలక్ట్రానుని వర్ణించడానికి "తరంగప్రమేయం" (wavefunction) అనే ఊహనాన్ని వాడడం ఒక పద్ధతి. ఒక "కెరటం" వంటి ఆకారాన్ని గణిత సమీకరణం ద్వారా ఈ తరంగప్రమేయం వర్ణిస్తుంది. ఎటువంటి కెరటం? నిశ్చలంగా ఉన్న తటాకం మధ్యలో ఒక గులకరాయి వేస్తే గుండ్రంగా, కదులుతున్న చక్రాలు మాదిరి పుట్టే కెరటం అనుకోవచ్చు. "ఈ కెరటం ఎక్కడ ఉంది?" అని ప్రశ్నిస్తే ఎక్కడ అని చెప్పగలం? అది చెరువు అంతటా వ్యాపించి ఉంటుంది కదా! కానీ చుట్టూ చీకటి ఉన్నప్పుడు ఇవేమీ కనబడవు. మన చేతిలో ఉన్న దీపాన్ని చెరువు అంతటా వ్యాపించేటట్లు వెయ్యలేము కనుక ఎదో ఒక చోట వేస్తాం. అక్కడ కెరటం కనిపిస్తుంది. "కెరటం ఎక్కడ ఉంది?" అని అడిగితే "దీపం వేసిన చోట ఉంది" అని చెబుతారు. అనగా, దీపం ఎక్కడ వేస్తే అక్కడ కెరటం ఉన్నట్లు కనిపిస్తుంది. కేవలం కనిపించడమే కాదు; గుళిక వాదం ప్రకారం "దీపం ఎక్కడ వేస్తే కెరటం అక్కడే స్థిరపడిపోతుంది, మరెక్కడా ఉండదు." (మరొక విధంగా చెప్పాలంటే "దీపం ఎక్కడ వేస్తే కెరటం అక్కడే కనబడే సంభావ్యత అత్యధికం, మిగిలిన చోట్ల ఆ సంభావ్యత అత్యల్పం.") ఇది మన అనుభవానికి అతీతమైన ఊహనం. సారూప్యాలకి లొంగని భావం.

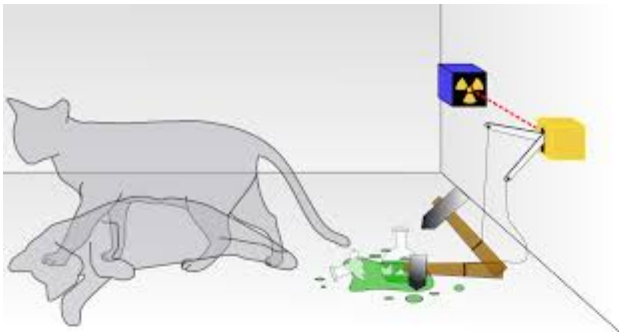
ఈ దృగ్విషయాన్నే ఇంగ్లీషులో collapse of the wavefunction అంటారు. ఈ దృగ్విషయాన్ని ఉహించుకుందుకి ఒక ఉపమానం చెబుతాను. నాలుగు అంగుళాలు పొడుగున్న శతపాది (రోకలిబండ, centipede) నేల మీద పాకుతూ కనబడుతుంది. అ నాలుగంగుళాలు పొడుగున్న రోకలిబండే మన ఎలక్ట్రాను విహరించగలిగే సర్వ ప్రపంచం అనుకుందాం. అనగా మన తరంగప్రమేయం ఈ నాలుగంగుళాల మేర వ్యాపించి ఉంటుంది. ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉంది? అని అడిగితే అది ఈ నాలుగంగుళాల మేర వ్యాపించి ఉందని చెప్పాలి - గుళిక శాస్త్రం ప్రకారం. ఇప్పుడు ఒక చీపురుపుల్లతో ఆ రోకలిబండని ఎదో ఒక చోట తాకుదాం. (ఇది మనం చేసిన ప్రయోగం!) అప్పుడు ఆ రోకలిబండ ఆ తాకిన ప్రదేశం చుట్టూ చుట్టచుట్టుకు పోతుంది కదా! అనగా నాలుగంగుళాల పొడుగు ఉన్న రోకలిబండ తాకిన ప్రదేశం దగ్గర ముకుళించుకుపోయి స్థిరపడిపోతుంది (లేదా collapse అయిపోతుంది). అదే విధంగా ఎలక్ట్రాను ఫలానా చోట ఉందా, లేదా అని ప్రయోగం చేసి నిశ్చయిద్దామని ప్రయత్నిస్తే ఆ ఎలక్ట్రాను ఆ "ఫలానా చోట" కూలబడిపోతుంది! అనగా, చూడడానికి ప్రయత్నిస్తే ఎక్కడ చూస్తామో అక్కడే కనబడుతుంది.

పరమాత్మ అంతటా ఉన్నాడంటాం. అంతటా ఉంటే ఎలా చూడకలం? ఎక్కడని చూడకలం? అందుకని ఎక్కడ ప్రతిష్ఠ చేస్తే అక్కడే ఉన్నాడంటాం కదా? అలాగనుకోండి. అందుకనే పరమాత్మ విశ్వవ్యాప్తం అని తెలిసుండి కూడా చూడడానికి దేవాలయానికి వెళతాం.

అదే విధంగా ఎలక్ట్రాను ఉనికి విశ్వవ్యాప్తం. అది ఎక్కడ ఉందో చూడాలంటే దాని మీద “దీపం” వెయ్యాలి. దీపం ఎక్కడ వేస్తే అక్కడే ప్రతిస్థాపితమై కనిపిస్తుంది. అంటే మనం ప్రయోగం చేస్తే కానీ ఎలక్ట్రాను ఉనికిని నిర్ధారించలేము. ప్రయోగం ఎక్కడ చేస్తే అక్కడే కనిపిస్తుంది. ప్రయోగం చెయ్యకపోతే అది సర్వవ్యాప్తం! ఈ ఊహ అందరికి సులభంగా అర్థం అయేటట్లు చెప్పడానికి ష్రోడింగర్ ఒక స్ఫురణ ప్రయోగం చేసి చూడమని సలహా ఇచ్చేడు. ఆ స్ఫురణ ప్రయోగానికి బదులు నేను భారతీయ వేదాంత తత్త్వం దృష్టిలో వ్యాఖ్యానించేను.

ఇంతకీ ష్రోడింగర్ ప్రతిపాదించిన స్ఫురణ ప్రయోగం ఏమిటి?

తలుపులు, కిటికీలు అన్నీ మూసేసిన ఒక గదిలో ఒక పిల్లిని పెట్టమన్నాడు. ఆ గదిలో విషం కలిపిన పాల సీసా ఉంటుంది. ఒక గంట వ్యవధిలో, ఎప్పుడో ఒకప్పుడు, యాదృచ్ఛికంగా, ఆ సీసా ఒలుకుతుంది. అప్పుడు ఆ పాలు తాగి ఆ పిల్లి చచ్చిపోతుంది. ఆ సీసా ఎప్పుడు ఒలుకుతుందో ఇదమిత్థంగా చెప్పలేము; అది యాదృచ్ఛికంగా జరిగే ప్రక్రియ.



బొమ్మ. ష్రోడింగర్ ప్రతిపాదించిన స్ఫురణ ప్రయోగం (వికీపీడియా సౌజన్యంతో)

ప్రశ్న: గదిలో పిల్లిని పెట్టి, కొంత కాలం పోయిన తరువాత “ఆ పిల్లి ఇంకా బతికే ఉందా, చచ్చిపోయిందా?” అన్న ప్రశ్నకి సమాధానం చెప్పాలంటే, “తలుపు తీసి చూడడం” అన్న ప్రయోగం చేసి చూడాలి. తలుపు తీసి చూడనంత సేపూ మన మనస్సులో “ఆ పిల్లి బ్రతికీ ఉంటుంది, చచ్చిపోయీ ఉంటుంది.” కానీ “తలుపు తీసి చూడడం” అన్న ప్రయోగం చెయ్యగానే సందిగ్ధతకు తావు లేదు. చచ్చిపోయిందో, బ్రతికే ఉందో చూడగానే తేలిపోతుంది. (The peculiar rules of

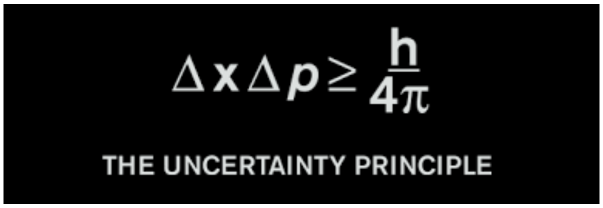
quantum theory meant that it could be both dead and alive, until the box was opened and the cat’s state measured.)

అదే విధంగా ఎలక్ట్రాను స్థితిని మనం అర్థం చేసుకోవాలి అంటాడు ష్రోడింగర్! మనం “రజ్జుసర్ప భ్రాంతి” అన్న భావాన్నే భౌతిక శాస్త్రంలో “ష్రోడింగర్ పిల్లి” అంటారు. పిల్లిని గదిలో బంధించి, అది బతికి ఉందా, చచ్చిపోయిందా అని మెట్ట వేదాంతపు ధోరణిలో వాదించుకుంటూ గంటలకొద్దీ కాలం గడపవచ్చు. అదంతా కంచిగరుడ సేవే అవుతుంది. ప్రయోగం చెయ్యగా వచ్చిన ఫలితానిదే ఎప్పుడూ పై చేయి అవుతుంది. తలుపు తెరచి చూడు: పిల్లి బతికి ఉందో చచ్చిపోయిందో తేలుతుంది. దీపం వేసి చూడు: కాలికి తగిలినది తాడో, పామో తేలిపోతుంది. నహి నహి రక్షతి డుకృఞ్ కరణే!

Schrodinger, in speaking of the universe in which particles are represented by wavefunctions, said, “The unity and continuity of Vedanta are reflected in the unity and continuity of wave mechanics. This is entirely consistent with the Vedanta concept of All in One.”

“The multiplicity is only apparent. This is the doctrine of the Upanishads. And not of the Upanishads only. The mystical experience of the union with God regularly leads to this view, unless strong prejudices stand in the West.” (Erwin Schrodinger: *What is Life?,* page 129, Cambridge University Press)

11. అనిర్ధారిత సూత్రం



స్థూల ప్రపంచం ఖణిగా, స్ఫుటంగా అగుపిస్తుంది. సూక్ష్మ ప్రపంచం అంతా మసకే, స్పష్టత లేదు; నిశ్చయంగా 'ఇది' అని ఇదమిత్థంగా చెప్పలేము. ఈ అస్పష్టతని, ఈ అనిశ్చిత స్థితిని ఒక గణిత అసమీకరణం (inequality) లో బంధించి చూపిస్తుంది హైజెన్బర్గ్ ప్రవచించిన అనిర్ధారిత లేదా అనిశ్చితత్త్వ సూత్రం. అనిర్ధారిత సూత్రం అనేది అణు ప్రపంచానికి సంబంధించిన సూత్రం. ఈ సూత్రం కూడా నిక్కచ్చిగా 'ఇంత' అంటూ ఒక సమీకరణం రూపంలో ఉండదు; 'ఇంతకి ఎక్కువో, లేక ఇంతకి సమానమో' అంటూ నీళ్లు నములుతుంది.

ఈ సూత్రం గుళిక వాదం (Quantum theory) కి ఆయువుపట్టు! ఈ సత్యం ఆవిష్కరించినందుకు హైజెన్బర్గ్ కి నోబెల్ బహుమానం ఇచ్చేరు. హైజన్బర్గ్ ప్రవచించిన అనిర్ధారిత సూత్రం ఎంత మౌలికమో అంత అనుభావాతీతం.

ఈ నేపథ్య సమాచారం అంతా అలా పక్కన పెట్టి హైజెన్బర్గ్ ప్రతిపాదించిన

$$(\Delta x)(\Delta p) \geq h/4\pi; \quad h/4\pi = 5 \times 10^{-35}\, joule\, sec$$

అనే అసమీకరణం (inequality) ని అర్థం చేసుకుందుకు ప్రయత్నిద్దాం. ఇక్కడ కుడి వైపు ఉన్న $h/4\pi$ విలువ అత్యల్పం అని గమనించండి. అనగా (Δx) ని (Δp) చేత గుణించగా వచ్చిన లబ్దం ఎల్లప్పుడూ ఈ అత్యల్పమైన విలువ కంటే హెచ్చుగానే ఉంటుంది అని ఈ సూత్రం హెచ్చరిస్తోంది. కుడి వైపు ఉన్న $h/4\pi$ ఎలా వచ్చిందో చెప్పడం కొంచెం కష్టం కానీ, కుడి పక్క భిన్నం విలువ అత్యల్పం కనుక ఎడం పక్క కూడా అత్యల్పం అయినప్పుడే ఈ సూత్రంలోని అంతరార్థం అర్థవంతం అవుతుంది. అనగా ఈ సూత్రం సూక్ష్మ ప్రపంచంలోనే అర్థవంతం అవుతుంది. ఈ సూత్రాన్ని స్థూల ప్రపంచంలో వాడి చూడడం దండగ!

ఇక్కడ (Δx) అనేది ఒక రేణువు (లేదా, ఎలక్ట్రాను) ఎక్కడుందీ తెలియని మన అజ్ఞానాన్ని సూచిస్తుంది. అదే విధంగా (Δp) ఆ రేణువు యొక్క భారవేగం (అనగా, భారాన్ని వేగంతో గుణించగా వచ్చిన లబ్దం) ఎంతో తెలియని మన అజ్ఞానాన్ని సూచిస్తుంది. ఉదాహరణకి $x = 0$ అయినప్పుడు x ఎడల మన అజ్ఞానం శూన్యం; అనగా, ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉందీ మనకి కచ్చితంగా తెలుసన్నమాట. అప్పుడు హైజెన్బర్గ్ ఇచ్చిన అసమీకరణం చెల్లాలంటే p అనంతంగా పెరిగిపోవాలి. అనగా, ఎలక్ట్రాను వేగం విపరీతంగా పెరిగిపోవాలి. ఇదే విధంగా, $p = 0$ అయినప్పుడు p ఎడల మన అజ్ఞానం శూన్యం. అనగా, ఎలక్ట్రాను భారవేగం ఎంతో మనకి కచ్చితంగా తెలుసన్నమాట. అప్పుడు హైజెన్బర్గ్ ఇచ్చిన అసమీకరణం చెల్లాలంటే x అనంతంగా పెరిగిపోవాలి. అనగా, ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉందీ మనకి తెలియదన్నమాట! దీని సారాంశం ఏమిటంటే ఎలక్ట్రాను వంటి చిన్ని రేణువు ఎక్కడుందో తెలిస్తే దాని వేగం నిర్ధారించలేము, దాని వేగం తెలిస్తే ఎక్కడుందో నిర్ధారించలేము. ఈ రెండింటిని ఒకే సారి నిర్ధారించి కొలవడం అసాధ్యం! కష్టం కాదు; అసాధ్యం! ఇది ప్రకృతి లక్షణమే కానీ మన అసమర్ధతకి సూచిక కాదు. అనగా, మనం ఎంత తెలివైనవాళ్ళం అయినా, ఎంత స్ఫూర్తివంతులమైనా ప్రకృతి విధించిన ఈ ఆంక్షని జవదాటలేము.

1. ఒక స్ఫురణ ప్రయోగం

ఈ విషయం సమగ్రంగా అర్థం చేసుకుందుకు ఒక స్ఫురణ ప్రయోగం (thought experiment) చేద్దాం. ఎలక్ట్రానుని ఎంతో చిన్నదైన నలుసులా ఊహించుకోవచ్చు. అనగా, దాని భారం అత్యల్పం. దీనిని చూడాలంటే దీని మీద ఒక కాంతి కిరణాన్ని ప్రసరించాలి. ఆ కాంతి ఎలక్ట్రాను మీద పడి, పరావర్తనం చెంది, మన కంటికి చేరినప్పుడు ఆ ఎలక్ట్రాను మనకి కనిపిస్తుంది.

ఒక బంతిని కాలితో తన్నగలము కానీ ఒక ఇసుక రేణువుని తన్న కలమా? ఇసుక రేణువు కంటే మన పాదం ఎంతో పెద్దది. కనుక ఇసక రేణువుని కదపడానికి చిన్న పూతిక పుల్లని వాడాలి. అదే విధంగా ఎలక్ట్రాను మీద పడ్డ కాంతి తరంగం పరావర్తనం చెంది మన కంటికి చేరాలంటే ఎలక్ట్రాను ప్రమాణంలో (అనగా ఒక ఎంగ్^స్ట్రం ప్రమాణంలో) ఉన్న అతి చిన్న కాంతి తరంగాలు వాడాలి. కానీ కాంతి తరంగాల నిడివి తగ్గుతున్న కొద్దీ వాటిలో ఇమిడి ఉన్న శక్తి పెరుగుతుంది. అనగా, ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉందో “చూడాలంటే” దాని మీద అతి శక్తివంతమైన కాంతిని ప్రసరించాలి. అంత శక్తిమంతమైన కాంతి అంత తేలికగా ఉన్న ఎలక్ట్రాను మీద పడేసరికి తుపాను గాలిలో కాగితంలా ఎలక్ట్రాను ఎగిరిపోతుంది. అప్పుడు దాని వేగం కొలవగలము కానీ అది ఎక్కడుందో నిర్ధారించలేము.

2. స్థూల ప్రపంచంలో అనిర్ధారిత సూత్రం ఎలా పని చేస్తుంది?

ఈ సూత్రాన్ని స్థూల ప్రపంచంలో వాడి ప్రయోజనం లేదని పైన అనుకున్నాము కదా. సరదాకి స్థూల ప్రపంచంలో వాడితే ఏమవుతుందో చూద్దాం. ఉదాహరణకి ఒక బంతి భారం (mass) ఒక కిలో (1 kg) ఉంటుందని అనుకుందాం. ఈ బంతిని గంటకి 100 మైళ్ళు (లేదా సెకండుకి 44 కిలోమీటర్లు) జోరుతో విసిరేమనుకుందాం. ప్లేంక్ స్థిరాంకం విలువ h = $6.63 \, x \, 10^{-34}$. అనగా, 6.63 ని భిన్నం యొక్క లవంలో వేసి, భిన్నం యొక్క హారంలో 1 వేసి, దాని పక్కన 34 సున్నలు చుట్టాలని అర్థం. అనగా, *h* విలువ చాల తక్కువ అని గ్రహించునది! ఇప్పుడు ఈ విలువలని పై సమీకరణాలలో ప్రతిక్షేపించి లెక్క పూర్తి చేస్తే బంతితో కూడిన తరంగం పొడుగు అత్యల్పం అని తేలుతుంది; "బంతి తరంగం" పొడుగు అణుగర్భంలో ఉన్న ప్రోటాను ఉరువు (size) కంటే 20 రెట్లు తక్కువ ఉంటుంది అని తేలుతుంది. (కాగితం, కలం తీసుకుని ఈ లెక్క ని కడితేరా చేసి చూడండి! రెండు నిమిషాల పని!) అనగా, బంతిని కావలిస్తే తరంగంలా ఊహించుకోవచ్చు కానీ పడి లేచే ఆ తరంగం లోని ఎగుడుదిగుడులు అతి సూక్ష్మం - ఆ తేడాలు మన కంటికి ఆనవు. అందుకనే బంతి తరంగంలా కనిపించదు.

3. సూక్ష్మ ప్రపంచంలో అనిర్ధారిత సూత్రం

ఇప్పుడు ఇదే లెక్కని సూక్ష్మ ప్రపంచంలో - బంతికి బదులు ఎలక్ట్రానుతో - చేద్దాం.
ఎలక్ట్రాను భారం $= 10^{-30} \, kg$
ఎలక్ట్రాను వేగం $= 1,000 \, m/s$ అనుకుందాం.
ఈ విలువలని ప్రతిక్షేపిస్తే "ఎలక్ట్రాను తరంగం" పొడుగు (wavelength of electron wave),
$\lambda = h/mv = (6.63 \times 10^{-34})/10^{-30} \times 1000$ = 663 *nm*
ఎరుపు రంగు ఉన్న కాంతి తరంగం పొడుగు దరిదాపు ఈమాత్రం (663 *nm*) ఉంటుంది. అనగా, ఈ ఎలక్ట్రానుని మనం "చూడగలిగితే" అది ఎర్రగా కనిపించాలి. ఎలక్ట్రాను మన కంటికి కనబడదు కానీ, ఈ ఎరుపు రంగు గీతని వర్ణమాలాదర్శనిలో చూడవచ్చు.

4. మరొక స్ఫురణ ప్రయోగం

స్థూల ప్రపంచానికి సూక్ష్మ ప్రపంచానికి మధ్య తేడాని చూపించడానికి మరొక స్ఫురణ ప్రయోగం చేద్దాం. లెక్క సౌలభ్యం కొరకు $h/4\pi = 1$అని అనుకుందాం. బిలియర్డ్ ఆటలో వాడే ఒక బంతిని

తీసుకుందాం. లెక్క సౌలభ్యం కొరకు ఈ బంతి భారం ఒక కిలో ఉంటుందని అనుకుందాం. ఈ బంతిని బిలియర్డ్ ఆటలో వాడే ఒక త్రిభుజాకారపు చట్రంలో ఉంచుదాం. (మన లెక్కకి ఈ చట్రం త్రిభుజాకారంగా ఉండాలని నియమం ఏదీ లేదు.) ఈ త్రిభుజంలో భుజం పొడుగు ఒక అడుగు లేదా 0.3 మీటర్లు అనుకుందాం. బంతి ఒకే దిశలో (x - దిశలో) మాత్రమే కదలగలదని అనుకుందాం. ఇవన్నీ చిత్తుగా చేస్తున్న లెక్కలే!

బొమ్మ. చట్రంలో బంధించిన బంతి కథనం

ఇప్పుడు $(\Delta x) = 0.3$ మీటర్లు.

అనిర్దిష్ట సూత్రం ప్రకారం, ($h/4\pi = 1$ అనుకున్నాం కనుక)

$(\Delta x)(\Delta p) \geq 1$ అవుతుంది.

ఇప్పుడు $(\Delta x) = 0.3$ విలువని ఇందులో ప్రతిక్షేపిస్తే

$(\Delta p) \geq 1/(\Delta x) = 1/0.3 \approx 3\, km/sec$

ఇప్పుడు చట్రంలో బందీ అయిన బంతి వేగం (v) లెక్క కడదాం. బంతి భారవేగం $p = mv$ కనుక $(\Delta p) = m(\Delta v)$ అవుతుంది. ఇప్పుడు

$(\Delta v) = 1/0.3 = 3\, km/sec$, (m = 1 kg అనుకున్నాం కనుక).

అనగా, బంతిని త్రిభుజాకారపు చట్రంలో బంధిస్తే ఆ బంతి నిలకడగా ఉండలేదు; సెకండుకి 3 కిలోమీటర్లు చొప్పున పరిగెడుతూ ఉంటుంది! అనగా గంటకి, ఉరమరగా, 11,000 కిమీ వేగంతో పరిగెడుతూ ఉంటుంది! అంటే, విమానం కంటే జోరుగా!

ఏదీ, ఒక బంతిని చట్రంలో పెట్టి బంధిస్తే ఇంత జోరుగా పరిగెత్తదేమి? కారణం ఏమిటంటే లెక్క సౌలభ్యం కోసం మనం $h/4\pi = 1$ అని అనుకున్నాం. ఇది నిజం కాదు. నిజానికి $h/4\pi = 5 \times 10^{-35}$; ఈ విలువ వాడి ఉంటే బంతి ఎంత జోరుగా పరిగెట్టేదో మరొక సారి లెక్క వేసి చూడండి. మీకు వచ్చే సమాధానం చెబితే ఆశ్చర్యపోతారు. పది బిలియను (10,000,000,000) సంవత్సరాలలో బంతి ఒక ప్రోటాను ఉరువు (size) లో 20 వ భాగం కదిలి ఉండేది! ఆ కదలిక గమనించడం మన తరమా! కనుక స్థూల ప్రపంచంలో అనిర్దిష్ఠ సూత్రం ప్రభావం కనబడదు.

ఇదే లెక్కని బంతి స్థానంలో ఎలక్ట్రానుని పెట్టి చేద్దాం. త్రిభుజాకారపు చట్రానికి బదులు ఉదజని అణువుని పెడదాం. ఉదజని అణువు ఉరువు ఒక ఎంగ్^స్ట్రం లేదా 1×10^{-10} మీటర్లు. ఎలక్ట్రాను భారం 1×10^{-30} కిలోగ్రాములు. ఈ విలువలు ప్రతిక్షేపించి లెక్క మళ్లా చేస్తే ఎలక్ట్రాను వేగం సెకండుకి 500 కిలో మీటర్లు వస్తుంది. (పోలిక కోసం: విమానం వేగం, సెకండుకి 0.2 కిలో మీటర్లు. కాంతి వేగం, సెకండుకి $300,000$ కిలో మీటర్లు.)

ఈ లెక్కల సారాంశం ఏమిటి? అణు ప్రపంచపు తీరు మనకి పరిచితమైన స్థూల ప్రపంచపు తీరుకి విరుద్ధంగా ఉంటుంది. అణు ప్రపంచంలో మనకి కలిగే అనుభవాలు మనం కనీ, వినీ, ఎరగని అనుభవాలు. ఈ అనుభవాలని వర్ణించి చెప్పడానికి మానవ భాషలలో మాటలు లేవు. మాటలు లేకపోతే పాఠాలు చెప్పడం ఎలా? అందుకని గణిత భాష మీద ఆధారపడక తప్పదు.

12. గుళిక వాదం, వేదాంత సారం

1

సాధారణ శకం 1900 వరకు నూటన్, మెక్స్వెల్ ప్రభృతులు లేవనెత్తిన సనాతన భౌతిక శాస్త్రపు సూత్రాలు సవాలు లేకుండా రాజ్యం ఏలేయి. తరువాత 1905 లో ఆయిన్^స్టయిన్ ప్రతిపాదించిన సాపేక్షవాదం నూటన్ గమన సూత్రాలకి సవరణలు ప్రతిపాదించినా, స్థూలంగా, భౌతిక ప్రపంచపు పోకడ యెడల మన అవగాహన పెద్దగా మారలేదు. భౌతిక ప్రపంచం పై మన అవగాహన పరిపూర్ణం అయినట్లే అని పెక్కురు పెద్దలు అభిప్రాయం వెలిబుచ్చేరు.

కానీ, ఎలక్ట్రాన్ వంటి పరమాణు రేణువుల వింత ప్రవర్తన నూటన్, మెక్స్వెల్ ప్రభృతులు లేవనెత్తిన సనాతన భౌతిక శాస్త్రానికి పెద్ద చిక్కులనే తెచ్చిపెట్టింది. ఈ చిక్కులని ఎదుర్కోడానికి బోర్, అయిన్^స్టయిన్, ష్రోడింగర్, హైజెన్బర్గ్ ప్రభృతులు గుళిక వాదం (quantum theory) అనే కొత్త మార్గానికి బాటలు వేసేరు. ఈ కొత్త మార్గం గుండా ప్రయాణం చేస్తే ఎలక్ట్రాన్ వంటి పరమాణు రేణువుల వింత ప్రవర్తన అర్థం చేసుకోవడం కొంతవరకు సుగమం అయింది.

కానీ ఈ కొత్త మార్గం కొత్త సమస్యలని తీసుకొని రావడంతో కొన్ని కొరుకుపడని సాంకేతిక సమస్యలని పరిష్కరించవలసి వచ్చింది. మచ్చుకి: ఈ కొత్త వాదం ప్రకారం ఎలక్ట్రానులు గోడలవంటి అడ్డంకులని దొలుచుకుని ఇటు నుండి అటు వెళ్లిపోగలవు! పరమాణు రేణువులు ఒకే సమయంలో రెండు ప్రదేశాలలో కనబడగలవు! అత్యంత దూరంలో ఉన్న ఇద్దరు పరిశీలకుల (observers) మధ్య వార్తలు క్షణికంగా (instantaneous) (అనగా, కాంతి వేగాన్ని మించి) ప్రసారం చెయ్యవచ్చు!

మరొక ఉదాహరణ! కాంతి నిజ స్వరూపం ఏమిటి? కాంతి తరంగాల రూపంలో ప్రసరిస్తుందని 1865 లో మెక్స్వెల్ బల్ల గుద్ది చెప్పేడు. కానీ 1905 లో ఆయిన్^స్టయిన్ వచ్చి కాంతి రేణువుల రూపంలో కూడా ప్రసరిస్తుందని ఉద్ఘాటించగా ఆ రేణువులకి తేజాణువులు (photons) అని పేరు పెట్టేరు. తరువాత డి బ్రోయిలీ వచ్చి పదార్థం రేణువుల రూపంలోనే కాకుండా తరంగాలు రూపంలో కూడా ఉంటుందని పదార్థం యొక్క ద్వంద్వ తత్త్వాన్ని రుజవు చేసేడు. కాంతి కానీ, పదార్థం కానీ నిజానికి ఎలా ఉంటుంది? ప్రయోగం చేసి చూసేరు. మనం అంతా రేణువులులా ఊహించుకుంటూన్న ఎలక్ట్రానులు మనం వాటిని పరీక్షించకుండా (వాటి వైపు “చూడకుండా”) ఉన్నంత సేపూ (as long as we do not observe them) తరంగాలులా ప్రవర్తిస్తాయి. మనం వాటిని చూసేమో అవి రేణువులులా ప్రవర్తిస్తాయి. మనం వాటిని పరీక్షిస్తున్నామో లేదో వాటికి ఎలా తెలుసు? ఈ ప్రశ్నకి సమాధానం మనకి తెలియదు. కానీ ఎలక్ట్రానులు వాటికి తెలిసినట్లే ప్రవర్తిస్తాయి!

ఈ సరికొత్త గుళిక వాదం భౌతిక శాస్త్రం అనే మహా వృక్షాన్ని కూకటి వేళ్ళతో కదలించింది. అప్పటివరకు మన అవగాహనలో ఉన్న ప్రకృతి యొక్క స్వరూపం నిజమైనదేనా అనే అనుమానం శాస్త్రవేత్తలని పెనుభూతంలా ఆవహించింది. ఈ పరిస్థితి "ఏది వాస్తవం?" (What is Reality?) అనే తాత్త్వికమైన ప్రశ్నని లేవనెత్తింది.

అంతవరకు సనాతన భౌతిక శాస్త్రం ప్రకారం పదార్థం (matter) అనేదానిని అతి చిన్న రేణువులులా ఉహించుకునేవారు. ఇప్పుడు గుళిక వాదం వచ్చి పదార్థం రేణువులులా ఉండొచ్చు, కెరటాలులానూ ఉండొచ్చు అని వాదిస్తోంది. అలాంటప్పుడు పదార్థం యొక్క నిజ స్వరూపం ఏది? రేణువులా? కెరటాలా? పదార్థం రేణువులులానే ఉంటుందని తరతరాల అనుభవంతో సమకూడిన అంతర్బుద్ధి (intuition) ఒక పక్క చెబుతూ ఉంది; కానీ ప్రయోగం చేసి చూస్తే గుళిక వాదానికే మద్దత్తు కనిపిస్తోంది. ఇందులో ఏది వాస్తవం?

గుళిక వాదంలో "కోపెన్^హేగన్ వ్యాఖ్యానం" (Copenhagen interpretation) అనే అంశం ఒకటి ఉంది. ఇది కోపెన్^హేగెన్ నగరంలో బోర్ ప్రభృతులు చేసిన వ్యాఖ్యానం. ఈ "కోపెన్^హేగన్ వ్యాఖ్యానం" ప్రకారం పరిశీలకుడు పరీక్షించకుండా ఉన్నంత సేపూ సూక్ష్మ ప్రపంచం గుళిక వాదానికి కట్టుబడే ఉంటుంది; కానీ పరిశీలకుడు (ఇది ఒక వ్యక్తి కావచ్చు, ఒక పరికరం కావచ్చు) వ్యవస్థని పరిశీలించాడో, ఆ వ్యవస్థ ఠకీమని సనాతన వాదానికి తల ఒగ్గుతుంది. అంటే, తన ద్వంద్వ తత్త్వానికి స్వస్తి చెప్పి రేణువులా ప్రవర్తిస్తుంది. అలాంటప్పుడు ఎలక్ట్రాన్ నిజ స్వరూపం ఏమిటి? రేణువా? తరంగమా? చూస్తే రేణువు, చూడకపోతే తరంగం! అంటే వీక్షకుడు చూసేది నిజ స్వరూపం కాదు; అది వీక్షకుడు తన మనస్సులో కల్పించుకున్న ఒక భ్రాంతి. ఈ వితండవాదం నచ్చక "చంద్రుడిని చూస్తేనే అక్కడ ఉన్నాడా? చూడకపోతే లేడా?" అని అయిన్^స్టయిన్ అడుగుతాడు! "అడవిలో చెట్టు పడిపోయినప్పుడు చప్పుడు అయిందా?" అని అడిగితే "వినేవాడు లేకపోతే చప్పుడు ప్రశ్నయే లేదు" అంటుంది గుళిక వాదం.

గుళిక వాదానికి నారు పోసిన వారిలో ఒకడైన ష్రోడింగర్ ఈ సంకట పరిస్థితిని ఎదుర్కొన్నప్పుడు జెర్మనీ దేశపు తత్త్వవేత్త ఆర్థర్ షోపెన్హావర్ (Arthur Schopenhauer) వల్ల ప్రభావితుడయ్యాడు. ఈ షోపెన్హావర్ ఉపనిషత్తుల వల్ల ప్రభావితుడయి, "ఉపనిషత్తులని మించిన విద్య మరొకటి లేదు. జీవితంలో సాంత్వన కలిగించే విద్య మరొకటి లేదు. మరణంలో కూడ ఊరట ఇచ్చే విద్య మరొకటి లేదు" అని అభినందించేడు.

ఉపనిషత్తుల సారాంశం ఏమిటి? ఉపనిషత్తుల సారాంశాన్ని నాలుగు మహావాక్యాలలో చెప్పవచ్చు: తత్త్వమసి, అహం బ్రహ్మాస్మి, ప్రజ్ఞానం బ్రహ్మ, అయమాత్మా బ్రహ్మ. తత్త్వమసి - త త్త్వం అసి - అనగా ఆత్మ, బ్రహ్మము ఒక్కటే! జీవాత్మ, పరమాత్మ ఒక్కటే! విశ్వవ్యాప్తంగా ఉన్న పరమాత్మలో మనం అంతా ఒక భాగమే! అహం బ్రహ్మాస్మి అంటే నేనే బ్రహ్మమును. ప్రజ్ఞానం బ్రహ్మ అంటే మన చేతస్సే బ్రహ్మము. మనం మన చుట్టూ ఉన్న ప్రపంచాన్ని జ్ఞానేంద్రియాలతో సృజించినప్పుడు మనం అనుభవించేది వాస్తవం (Reality) కాదు; అది కేవలం ఒక భ్రమ. అనగా, బ్రహ్మము యొక్క నిజస్వరూపాన్ని మన చేతస్సు (లేదా consciousness) మీదకి ప్రక్షేపము (project) చెయ్యగా అది మన అనుభవ పరిధిలోకి వస్తుంది.

ఈ ఆలోచన ష్రోడింగర్ మీద బాగా ప్రభావం చూపింది. ఉన్నది ఒక్కటే! అదే మాయ ప్రభావం వల్ల - అద్దాల వ్యూహంలో కనిపించినట్లు - మనకి వివిధ రూపాలలో సాక్షాత్కరిస్తూ ఉంది. ఈ దృక్కోణానికి ష్రోడింగర్ ప్రభావితుడవడానికి కారణం లేకపోలేదు. గుళిక వాదం ప్రకారం వాస్తవం యొక్క నిజ స్వరూపం తరంగాలు. తరంగాలా-రేణువులా అనే సందిగ్ధత ప్రపంచాన్ని మన పరికరాలతో (జ్ఞానేంద్రియాలతో) సృజించినప్పుడు (measure చేసినప్పుడు) వస్తోంది. వాస్తవం యొక్క పరిపూర్ణమైన నిజ స్వరూపాన్ని మనం గ్రహించలేకపోతున్నాము కాబట్టి మన పరికరాలు కానీ, మన జ్ఞానేంద్రియాలు కానీ ఏమి చెబితే అదే వాస్తవం అనుకుంటున్నాం. అనగా వాస్తవం గురించి మనకి తెలిసినది అసంపూర్ణం. ఇలా “కూలిపోయిన” వాస్తవాన్ని గుళిక శాస్త్రం లో collapse of the wave function అంటారు. మనం మాయ అంటున్నాం! అందుకనే ఎక్కడ ప్రసంగించినా “ఆత్మ = బ్రహ్మ” అనేది ష్రోడింగర్ రెండవ సమీకరణం అని ష్రోడింగర్ చమత్కరించేవాడుట.

Quantum physics eliminates the gap between the observer and the observed. The Upanishads say that the observer and the observed are the same things. In his 1944 book *What is Life?*, Schrödinger took on a peculiar line of thought. If the world is indeed created by our act of observation, there should be billions of such worlds, one for each of us. How come your world and my world are the same? If something happens in my world, does it happen in your world, too? What causes all these worlds to synchronise with each other?

He found his answer, again, in the Upanishads. “There is obviously only one alternative,” he wrote, “namely the unification of minds or consciousnesses. Their multiplicity is only apparent, in truth there is only one mind. This is the doctrine of the Upanishads.”

ఉపనిషత్తుల వల్ల ప్రభావితుడైనది ష్రోడింగర్ ఒక్కడే కాదు. అలనాటి భౌతిక శాస్త్రవేత్తలు ఎందరో ఈ కోవకి చెందినవారు ఉన్నారు. నీల్స్ బోర్, హైజెన్బర్గ్, ఆపెన్^హైమర్, మొదలైనవారు ఉన్నారు. ఆమాటకొస్తే హైజెన్బర్గ్ ప్రవచించిన అనిర్ధారిత సూత్రం చెప్పేది కూడా ఇదే. వాస్తవం యొక్క నిజ స్వరూపాన్ని కొంత మేరకే మనం పరికరాలతో కొలవగలం. అటుపైన వాస్తవం అజ్ఞేయం (unknowable).

అలాగని పాశ్చాత్య భౌతిక శాస్త్రవేత్తలు “ఉపనిషత్తులలోనే అన్నీ ఉన్నాయి” అని కానీ, “ఉపనిషత్తులలో ఉన్నవన్నీ శాస్త్రీయమైనవి” అని కానీ అంటున్నారనుకుంటే అది మన పొరపాటే అవుతుంది. వేదాలలోనూ, ఉపనిషత్తులలోనూ ఉన్న ఎన్నో అంశాలని వారు ఆక్షేపించారు. మన ప్రాచీన పురాణ, వేద సారస్వతాలలో ఋజువులు లేని, ఋజువులు కాని నమ్మకాలు ఎన్నో ఉన్నాయి; అది వజ్రాలు, గులకరాళ్లు కలగలుపుగా ఉన్న సాహిత్యం. క్షీరనీర న్యాయంలా దానిలో శాస్త్రీయమైనది, సహేతుకమైనది మాత్రమే మనం గ్రహించి గర్వపడొచ్చు!

2

గుళిక వాదం (quantum theory) కీ వేదాంత తత్త్వానికి మధ్య ఉన్న లంకె మరి కొంత లోతుగా అర్థం కావాలంటే ముందుగా తత్త్వం గురించి కొంతా, గుళిక వాదం గురించి కొంత కనీస అవగాహన ఉండాలి. Physics అంటే భౌతిక విజ్ఞానం. Metaphysics (ఆధిభౌతిక శాస్త్రం) అనేది వాస్తవం (reality) అంటే ఏమిటి? మూర్తవస్తువు (matter) కి, మనస్సు (mind) కీ మధ్య లంకె ఏమిటి? వాస్తవం (reality) కి, సాధ్యత (potentiality) కీ మధ్య లంకె ఏమిటి? వగైరా ప్రశ్నలకి సమాధానం వెతుకుతుంది. ఈ ఆధిభౌతిక శాస్త్రం తత్త్వ శాస్త్రం (philosophy) లో ఒక భాగం.

తత్త్వశాస్త్రంలో ప్రచారంలో ఉన్న రెండు మాటలకి అర్థాలు విచారిద్దాం. మొదటిది realism, లేదా తెలుగులో “వాస్తవవాదం.” (Realism is the view that a "reality" of material objects, and possibly of abstract concepts, exists in an external world independently of our minds and perceptions.) అనగా, స్థావరజంగమాత్మకమైన భౌతిక ప్రపంచం యొక్క ఉనికికి పరిశీలనశీలి (observer) తో నిమిత్తం లేదు. అనగా, బల్ల మీద పెట్టిన పండు మనం చూసినా, చూడకపోయినా అక్కడ బల్ల మీదనే ఉంటుంది. అడవిలో చెట్టు కూలినప్పుడు అక్కడ వినడానికి ఒక జీవి ఉన్నా, లేకపోయినా పడుతూన్న చెట్టు చప్పుడు చేస్తుంది.

రెండవది idealism, లేదా తెలుగులో “స్వయానుభవ ఆధ్యాత్మిక వాదం.” అనగా, వాస్తవికత అనేది ఏదో విధంగా మనస్సు (consciousness) మీదనే ఆధారపడి ఉంటుంది. అనగా, తన అనుభవంతో మేళవించినదే ప్రపంచం (సృష్టి) అని చెప్పేది. అనగా, స్థూల ప్రపంచం కల్ల, ఒక మాయ అని చెప్పేది. అనగా, బల్ల మీద పండు అక్కడ ఉందా, లేదా అనేది చూసేవాడి మీద ఆధారపడి ఉంటుంది. చెట్టు కూలినప్పుడు పుట్టిన శబ్ద తరంగాలు ఒక చెవి లోని కర్ణభేరికి తగిలి అది ప్రకంపించి ఆ ప్రకంపనలు ఒక మెదడులోని శ్రవణ నాడీ కేంద్రాలని ఉత్తేజపరచినప్పుడు ఆ మెదడు చెప్పిన భాష్యమే శబ్దం. అనగా మెదడులోని చేతన (consciousness) ఏది చెబితే అదే మనకి ద్యోతకమవుతుంది కాని నిజంగా ప్రపంచం ఎలా ఉందో అన్నది "అజ్ఞేయం" (unknowable).

గుళిక వాదానికీ వేదాంత తత్త్వానికీ మధ్య పోలికలు ఉన్నాయన్నప్పుడు పైన చెప్పిన రెండు అంశాలని దృష్టిలో పెట్టుకోవాలి.

గుళిక వాదం తెచ్చి పెట్టిన ఇబ్బందులు

ఇప్పుడు గుళిక వాదం గురించి కాస్త తెలుసుకుందాం. గుళిక వాదం అత్యంత సూక్ష్మ ప్రపంచాన్ని వర్ణించి చెప్పే శాస్త్రం. అనగా, గుళిక వాదంలో ఎలక్ట్రానులు, ప్రోటానులు, నూట్రానులు, ఫోటానులు, అణువులు (atoms), బణువులు (molecules) వగైరా సూక్ష్మ శాల్తీలని అధ్యయనం చేస్తాం. ఈ సూక్ష్మ శాల్తీలు రేణువులు రూపంలో కాకుండా ఒక మేఘం రూపంలో అలుముకుపోయి ఉన్నట్లు ఊహించుకుంటాం. అనగా ఈ నమూనాలో ఎలక్ట్రాను ఫలానా చోట ఉంది అని చెప్పలేము; ఆ మేఘం ఉన్న మేర అంతా ఉంది అని చెబుతాము. “ఎలక్ట్రాను ఫలానా చోట కనిపిస్తుందా?” అని అడిగితే ఖరాఖండిగా సమాధానం చెప్పలేము; ఫలానా చోట కనబడడానికి సంభావ్యత ఇంత అని మాత్రం చెప్పగలం! ఇలా అధ్యయనం చేసినప్పుడు ఆ సూక్ష్మ పదార్థపు స్థితి (state) ని వర్ణించడానికి “తరంగ ప్రమేయం” (wave function) అనే గణిత భావం వాడతాం.

ఇక్కడ చిన్న ఉపమానం చెబుతాను. విష్ణుమూర్తిని వర్ణించమని అడిగితే ఏమి చేస్తాం? “నాలుగు చేతులవాడు, చేతులలో శంఖం, చక్రం, వగైరాలు ఉన్నవాడు, పాల సముద్రంలో పాము మీద పవళించినవాడు, పద్మనయనములవాడు, ఇలాంటివాడు, అలాంటివాడు, అంటూ వర్ణిస్తాము కదా. అలాగే ఎలక్ట్రాను వంటి అతి సూక్ష్మమైన పదార్థాన్ని వర్ణించినప్పుడు “నీ గరిమ ఇంత, నీ భారవేగం ఇంత, నీ భ్రమణం ఇంత, అనుకుంటూ వర్ణించవచ్చు కదా! ఈ "సహస్రనామాల" సమాహారాన్నే సాంకేతిక పరిభాషలో "తరంగ ప్రమేయం" (wave function) అంటారు.

విష్ణువు ఎక్కడ ఉన్నాడు? ఇందుగలడందులేడని సందేహము వలదు అన్నట్లు విశ్వవ్యాప్తంగా ఉన్నాడు. ఎక్కడ చూస్తే అక్కడే ఉన్నాడు. అలాగని ఎక్కడని చూడడం? అందుకని మనవాళ్ళు ఆ విష్ణువుకి ఒక ఆకారం కల్పించి ఒక చోట ప్రతిష్ఠాపన చేసి, “ఈ దేవాలయంలో ఉన్నాడు” అని చెప్పేరు. అలాగే "ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉంది?" అని అడిగితే “విశ్వవ్యాప్తంగా విస్తరించి ఉంది” అని తరంగ ప్రమేయం చెబుతుంది. మన కళ్ళు, మన పరికరాలు విశ్వవ్యాప్తంగా విస్తరించి ఉన్న శాల్తీలని ఎలా చూడగలవు? ఎక్కడో ఒక చోట చూడగలవు. అలా మనం ఎక్కడ చూస్తే అక్కడ దేవుడు వెలిసినట్లు, ఎలక్ట్రానుని ఎక్కడ చూస్తే అక్కడ కనబడుతుంది. అనగా, మనం చూసిన చోటే కనబడుతుంది - మరెక్కడా కాదు. ఈ రకం ప్రవర్తనని "తరంగ ప్రమేయం మనం ఎక్కడ చూస్తున్నామో అక్కడే కూలబడి పోతుంది (లేదా collapse అయిపోతుంది)" అంటారు. మనం చూడనంతసేపు ఆ తరంగ ప్రమేయం విశ్వవ్యాప్తంగా విస్తరించి ఉంటుంది. అనగా తరంగ ప్రమేయం ఒక ఉపరిస్థాపక స్థితి (a state of superposition) లో ఉంటుంది. ఈ వింత ప్రవర్తనని ఇంగ్లీషులో measurement problem అంటారు. నిజానికి దీనిని observation problem లేదా "పరిశీలన సమస్య" అనడం ఎక్కువ అర్థవంతంగా ఉంటుంది. (ఈ సమస్యనే "ష్రోడింగర్ పిల్లి" అన్న స్పురణ ప్రయోగం (thought experiment) ద్వారా కూడా వ్యాఖ్యానిస్తారు!)

పైన చెప్పినది అలంకారం కాదు. నిజంగా "జంట కంతల ప్రయోగం" (double slit experiment) తో నిరూపించబడ్డ సత్యం. ఈ ప్రయోగాన్ని కూలంకషంగా వర్ణించి చెప్పడానికి సమయం పడుతుంది; టూకీగా చెబుతాను.

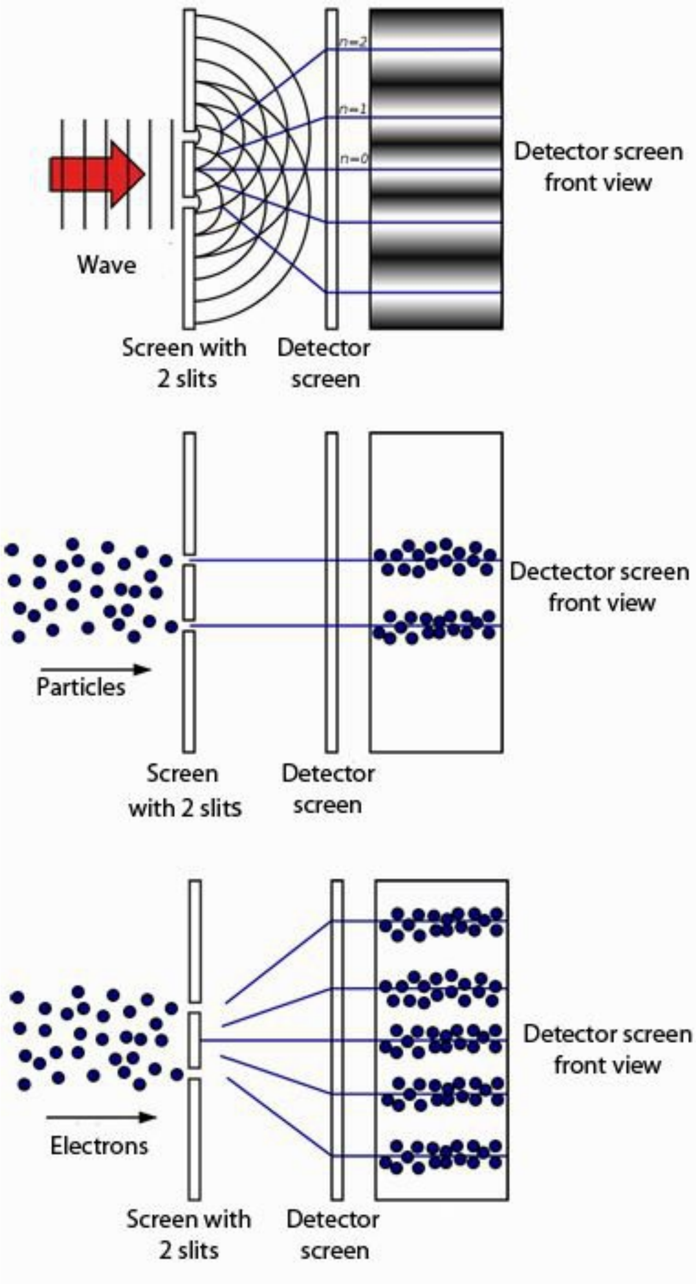
జంట కంతల ప్రయోగాలు

ఒక అట్ట ముక్కకి దగ్గర దగ్గరగా రెండు కంతలు (slits) పెడదాం. ఈ పరికరంతో కొన్ని ప్రయోగాలు చేద్దాం.

మొదటి ప్రయోగం. ఈ రెండు కంతల వైపు ఒక పక్క నుండి కాంతి కెరటాలని పంపుదాం. ఈ కెరటాలు కంతల గుండా ప్రవహించి, రెండుగా చీలి, అవతల పక్క ఒకదానితో మరొకటి ఢీకొని ఒక రకమైన "జోక్యపు చారల బొమ్మ (interference pattern) ని గోడ మీద ప్రక్షేపిస్తాయి. (బొమ్మ 1 లో మొదటి చిత్రం చూడండి). ఇలా రెండు కెరటాలు ఢీకొన్నప్పుడు "జోక్యపు చారలు" (interference pattern) కనబడతాయన్న విషయం భౌతిక శాస్త్రం చదివిన వారికి కరతలామలకం! (ఇది కొరుకుబడకపోతే, మింగేయండి!)

రెండవ ప్రయోగం. ఇప్పుడు ఒక పక్క నుండి సూక్ష్మ రేణువులని (అణువులు కాని, ఎలక్ట్రానులు కాని అనుకొండి) ఒకటీ, ఒకటీ చొప్పున ఈ కంతల వైపు విడుదల చేద్దాం. ఈ రేణువులని బంతులులా ఊహించుకుంటే ఆ బంతులు పైనున్న కంత లోంచి వెళ్ళినవి అవతల పక్క ఉన్న తెర మీద పై వరసలో పడతాయి. అలాగే కింద కంత లోంచి వెళ్ళినవి తెర మీద కింది వరసలో పడతాయి. అప్పుడు మనకి తెర మీద రెండు చారలు (బొమ్మ 1 లో మధ్య చిత్రంలో చూపినట్లు) కనబడాలి. అవునా? కాని ప్రయోగం చేసి చూస్తే రెండు చారలకి బదులు "ఎన్నో" చారలు (బొమ్మ 1 లో అట్టడుగు చిత్రంలో చూపినట్లు) కనబడతాయి. అనగా ఒక జోక్యపు చారల బొమ్మ కనబడుతుంది.

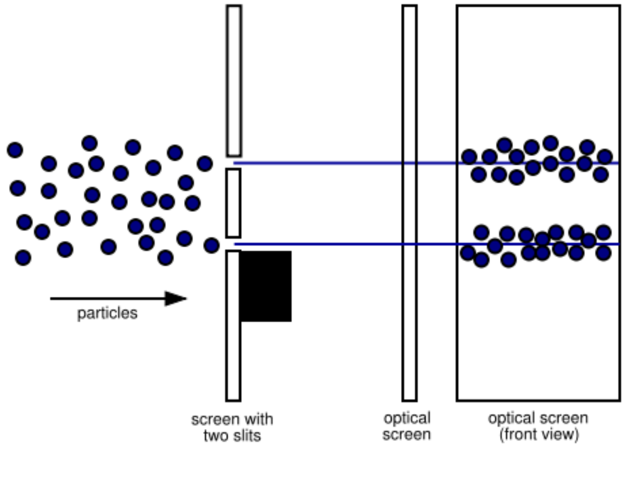
ఇలా ఎన్నో జోక్యపు చారలు కనబడడానికి కారణం కంతల మీద పతనం అవుతూన్న రేణువులు బంతులులా ప్రవర్తించకుండా కెరటాలులా ప్రవర్తిస్తున్నాయన్నమాట! కనుక మన ప్రయోగం చెప్పినది ఏమిటంటే "సూక్ష్మ రేణువులు బంతులులా ప్రవర్తించవు, తరంగాలలా ప్రవర్తిస్తాయి" అని.



బొమ్మ 1. రేణువులు బంతులు వలె ఉన్నాయని ఊహించుకుంటే తెర మీద బంతులు పడ్డ చోట్ల మధ్య చిత్రంలో చూపినట్లు రెండు చారలు కనబడాలి. కాని అట్టడుగు చిత్రంలో చూపినట్లు ఎన్నో చారలతో కనబడ్డాయి. ఇలా కనపడాలంటే రేణువులు కెరటాలు వలె ప్రవర్తించాలి కాని బంతులులా కాదు. ఈ విషయం తాడో, పేడో తేల్చుకుందామని ఆ కంతల పక్కని ఒక కెమేరాని పెట్టి ఫొటో తియ్యడానికి ప్రయత్నం చేస్తే ఫొటోలో రెండే చారలు కనిపిస్తాయి!! (గూగుల్ సౌజన్యంతో)

మూడవ ప్రయోగం. ఇంతకీ సూక్ష్మ రేణువులు బంతులులా ప్రవర్తిస్తాయా? తరంగాలులా ప్రవర్తిస్తాయా? ఈ విషయం తాడో, పేడో తేల్చుకుందామని ఆ కంతల పక్కని ఒక కెమేరాని పెట్టి ఫొటో తియ్యడానికి ప్రయత్నం చేసేరు (బొమ్మ 2 లో చూపినట్లు). తమాషా ఏమిటంటే కెమేరాని "ఆన్" చెయ్యగానే తెర మీద రెండే చారలు కనిపించేయి. కెమేరాని "ఆఫ్" చెయ్యగానే తెరమీద ఎన్నో చారలు కనిపించేయి. అంటే ఏమిటన్నమాట? కంతల దగ్గర ఏమి జరుగుతోందో "చూడడానికి" (లేదా పరిశీలించడానికి) ప్రయత్నిస్తే రేణువులు బంతులులా ప్రవర్తిస్తాయి; చూడకపోతే అవి కెరటాలలా ప్రవర్తిస్తాయి. "బంతి" అంటే ఒక చోట ప్రతిష్ఠించబడ్డ శక్తి అనిన్నీ, కెరటం అంటే విశ్వవ్యాప్తంగా విస్తరించి ఉన్న శక్తి అనిన్నీ మనం భాష్యం చెప్పుకుంటే ఎవ్వరూ పరిశీలించకుండా ఉన్నంతసేపూ రేణువులు విశ్వవ్యాప్తమైన తరంగాలులా ఉంటాయి, ఎవ్వరైనా వాటిని పరిశీలించడానికి ప్రయత్నం చేసేరో అవి రేణువులులా ఒక చోట స్థిరపడిపోయి కనిపిస్తాయి.

దీని అర్థం ఏమిటి? వాస్తవం (reality) పరిశీలకుడి (observer) మీద ఆధారపడి ఉంటుందా? పరిశీలించే శాల్తీ లేకపోతే "అక్కడ" ఏమి జరుగుతోందో ఎలా తెలుస్తుంది? ఇటువంటి ప్రశ్నలని లేవదీసి సమాధానం కోసం దరిదాపు 100 సంవత్సరాలబట్టి కుస్తీలు పడుతున్నారు. ఇప్పటికి ఎక్కువ ఆదరణలో ఉన్న వాదం ప్రకారం "సృష్టి యొక్క నిజ స్వరూపం అజ్ఞేయం (unknowable)." మనం చెయ్యగలిగేదల్లా మన అనుభవానికి అందుబాటులో ఉన్న నమూనాలు (గణిత సమీకరణాలు) "నిజ స్వరూపం" ఏదంటే దానిని నమ్మడమే!



బొమ్మ 2. కంతల పక్కని పరిశీలక పరికరాన్ని నియమిస్తే రేణువులు తిరిగి బంతులులా ప్రవర్తించడం మొదలు పెడతాయి. (గూగుల్ సౌజన్యంతో)

13. ఎంట్రోపి (యంతరపి) అంటే ఏమిటి?

ఒక కోణం

భౌతిక శాస్త్రం అనేది శక్తి యొక్క స్వరూప స్వభావాలని అధ్యయనం చేసే శాస్త్రం. శక్తి ఎప్పుడూ నశించదు; దాని రూపురేఖలు మారొచ్చు కాని దానికి నాశనం లేదు. శక్తి యొక్క మరొక లక్షణం విస్తరించే గుణం. పలచబడడం అనేది ఒక రకం విస్తరణ. బాహ్య స్వరూపం మారడం మరొక రకం విస్తరణ. శక్తి ఎంతగా విస్తరించిందో కొలవాలంటే ఎంతగా పలచబడిందో కొలవచ్చు, లేదా ఏ మాత్రం ఇతర స్వరూపాలలోకి మారిందో కొలవచ్చు. దూరాన్ని కిలోమీటర్లులో కొలుస్తాము, బరువుని కిలోగ్రాములలో కొలుస్తాము. అలాగే శక్తి స్వరూపంలో అంతర్గతంగా జరిగే ఈ “విస్తరణ” ని కొలవడానికి వాడే కొలమానం పేరు “ఎంట్రోపీ” అని ఇంగ్లీషు లోను, “యంతరపి” అని తెలుగు లోనూ అంటారు. తాపగతి శాస్త్రంలోని రెండవ సూత్రం ప్రకారం ఈ “యంతరపి” పెరుగుదల తగ్గుముఖం పట్టదు.

కొన్ని ఉదాహరణలతో మొదలు పెడదాం. ఎత్తుగా ఉన్న ప్రదేశం నుండి లోతుగా ఉన్న ప్రదేశం లోకి నీరు ప్రవహిస్తుంది. ఏదీ, “లోతుగా ఉన్న చోటు నుండి ఎగువకి నీరు ఎందుకు ప్రవహించదు?” అని అడిగి చూడండి. మిమ్మల్ని ఏ పిచ్చాసుపత్రిలోనో పడేస్తారు. సముద్రంలో అల్ప పీడన ద్రోణి ఏర్పడడం వల్ల - అంటే అక్కడ గాలి పీడనం పడిపోవడం వల్ల - నీరు పల్లమెరిగినట్లే గాలి కూడా పల్లమెరుగుతుంది. అధిక పీడన ప్రాంతం నుండి అల్ప పీడన ప్రాంతానికి గాలి జోరుగా వెళుతుంది. వేడిగా ఉన్న పెనాన్ని చల్లగా ఉన్న చపటా మీద పెడితే, క్రమేణా వేడి పెనం చల్లబడుతుంది, చల్లని చపటా వేడెక్కుతుంది. ఇక్కడ పెనం నుండి చపటా వైపు వేడి (heat) ప్రవహించింది.

ఈ ఉదాహరణల తాత్పర్యం ఏమిటి? గాలి కానీ, నీరు కానీ, వేడి కానీ “ఎత్తు” నుండి “పల్లానికి” ప్రవహిస్తుంది. ఇది ప్రకృతి నైజం. ఇలా ఒకే దిశలో ప్రయాణం చేసేది, మనం రోజూ అనుభవించేది, మరొకటి ఉంది. అది కాలం (time). ఇలా ఒకే దిశలో ప్రయాణం చేసేది, మన అనుభవానికి అతీతమైనది, మరొకటి ఉంది. అదే యంతరపి (entropy). “ఒక వ్యష్టిగా ఉన్న వ్యవస్థలో యంతరపి ఏనాడూ తగ్గుముఖం పట్టదు” అనేది ఒక ప్రాథమిక, అతిక్రమించారని, భౌతిక సూత్రం. ఇది అనుభవానికి అతీతమైనది కనుక ఉపమానాలతో అర్థం చేసుకోడానికి ప్రయత్నం చేస్తున్నాం.

నీటి ప్రవాహం లో శక్తి ఉంది. అందు చేత ఆ ప్రవాహానికి అడ్డుగా ఒక చక్రం పెడితే అది గిర్రున తిరుగుతుంది. అప్పుడు ఆ తిరిగే చక్రానికి విద్యుత్ ఉత్పాదకి (generator)ని తగిలిస్తే ఆ శక్తి విద్యుత్తు

రూపంలోకి మారుతుంది. ఇది మనందరికీ తెలిసిన విషయమే. గాలి ప్రవాహానికి అడ్డుగా ఒక చక్రం పెట్టి గాలిమర (windmill) ద్వారా విద్యుతుని పుట్టిస్తున్నాము కదా! అనగా ఎత్తు నుండి పల్లానికి ఏది ప్రవహిస్తున్నా ఆ ప్రవాహంలోని అంతర్గత శక్తిని మనం మనకి అనుకూలమైన శక్తి రూపంలోకి మార్చుకుని వాడుకోవచ్చు. ఎగువ నుండి దిగువకు వేడి ప్రవహిస్తూ ఉంటే దానిని కూడా మనం వాడుకోవచ్చా? నిక్షేపంగా! మనం కార్లు నడపడానికి ఇదే సూత్రాన్ని వాడి, ప్రవహిస్తున్న వేడిని వాడుకుంటున్నామని చాలామందికి తెలియదు. ప్రవాహంలో గాఢంగా ఇమిడిన శక్తి (concentrated energy) అంతా సద్వినియోగం కాదు; కొంతవరకు వృథా అవుతుంది. ఇలా మనం వాడుకోడానికి వీలులేకుండా నష్టపోతున్న (విస్తరిస్తూన్న) శక్తిని కొలిచే కొలమానాన్ని యంతరపి (entropy) అంటారు. మరొక విధంగా చెబుతాను. ప్రకృతిలో సహజంగా విస్తరిస్తూ, వృథాగా పోతున్న శక్తిని మనం ఊహాత్మకంగా, కొంతవరకు, ఉపయోగించుకోవచ్చు.

శాస్త్రంలో హఠాదుత్పన్న లక్షణం (emergent property) అనే దృగ్విషయం (phenomenon) ఉంది. అనగా, హఠాత్తుగా పుట్టుకొచ్చే లక్షణం. కొన్ని ఉదాహరణలు చెబుతాను. తాపోగ్రత (temperature) అనే భావం ఉంది. ఒకే ఒక అణువు (atom) ని కానీ, ఒకే ఒక బణువు (molecule) ని గాని తీసుకుని దాని "తాపోగ్రత" గురించి మాట్లాడడం అర్థ రహితం. ఒక్క చేతిని ఎంత తాడించినా చప్పుడు కాదు, అలాగే ఒక్క బణువుకి తాపోగ్రత ఉండదు. ఒక చోట కోట్ల కొద్దీ బణువులు, ఒక దానిని మరొకటి గుద్దుకుంటూ, ప్రయాణం చేస్తూ ఉంటేనే వేడి (heat) పుడుతుంది, దాని ఉగ్రతని మనం తాపోగ్రత అంటున్నాం. కనుక తాపోగ్రత అన్నది హఠాదుత్పన్న లక్షణం. మరొక ఉదాహరణ. క్రిములు, కీటకాలు, పశుపక్ష్యాదుల కంటె మానవుడు తెలివితేటలు (Intelligence) ఉన్నవాడని అంటారు కదా. దీనికి కారణం మన మెదడులో ఉన్న నూరానులు అనే జీవకణాల మధ్య ఉన్న లంకెలు. అల్ప జీవుల మెదడులలో 100 కి మించి నూరానులు ఉండవు. కానీ మానవుడి మెదడులో కోటానుకోట్ల నూరానులు ఉండబట్టి అంతకి నూరింతలు లంకెలు ఉంటాయి కాబట్టి మానవుడు తెలివి ప్రదర్శిస్తున్నాడని ప్రచారంలో ఉన్న వాదం ఒకటి ఉంది. ఒకే ఒక నూరాను ఉంటే లంకెలు ఏవి? కనుక ఒకే ఒక నూరాను తెలివిని ప్రదర్శించలేదు. అందుకని తెలివి అనేది కూడా ఒక హఠాదుత్పన్న లక్షణం. ఇదే ధోరణిలో యంతరపి కూడా ఒక హఠాదుత్పన్న లక్షణం.

ఈ ఉదాహరణలన్నిటి వెనుక ఒక ఉమ్మడి లక్షణం ఉంది. పదార్థాలన్నిటిలోను ఉన్న అణువులు, బణువులు సతతం ఆలా కదులుతూనే ఉంటాయి. మన చుట్టూ ఉన్న గాలిలో (వాయు పదార్థం) ఉన్న ఆమ్లజని బణువులు, సగటున, గంటకి 1500 కిలోమీటర్లు వేగంతో ప్రయాణం చేస్తూ ఉంటాయంటే మీరు నమ్మగలరా? అవి ఒక సెంటీమీటరులో పది మిలియనవ భాగం ప్రయాణం

చేసేసరికి పక్కనున్న మరొక బణువుని గుద్దుకుని, దిశ మార్చి, మరొక దిశలో ప్రయాణం చేస్తూ ఉంటాయి! గది వేడెక్కుతున్న కొద్దీ ఈ వేగం పెరుగుతుంది. ఘన పదార్థాలలో అణువులు స్ఫటిక జాలకం (crystal lattice) లకి బందీలయి ఉంటాయి కనుక విశృంఖలంగా తిరగలేవు; ఉన్న చోట కంపిస్తూ ఉంటాయి. ఈ కదలికలలోను, కంపనాలలోను ఇమిడి ఉన్న శక్తిని విస్తరింపజేయాలని చూస్తూ ఉంటుంది ప్రకృతి - మరే బాహ్య శక్తులు అడ్డుకోకపోతే! ఈ విస్తరణ కారణంగానే వేడిగా ఉన్న పెనం చల్లారుతోంది, కొండ మీద నీరు సముద్ర మట్టంలోకి దిగుతోంది. ఈ నగ్న సత్యమే తాపగతి శాస్త్రపు రెండవ సూత్రం, లేదా క్లుప్తంగా, రెండవ సూత్రం. ఈ విస్తరణ కొలమానము యంతరపి!

ఈ విస్తరణని యంతరపి ఎలా కొలుస్తుంది? ఈ విస్తరణ అణువుల (లేక బణువుల) సాముదాయిక లక్షణం (collective property) కనుక సంభావ్య వాదం (probability theory) ఉపయోగించి కొలుస్తుంది. “శక్తి ఒక చోట దట్టంగా పేరుకుని ఉన్నప్పుడు అది బాహ్య పర్యావరణంలోకి ఏ సంభావ్యతతో విస్తరిస్తుంది?” అన్న ప్రశ్నకి సమాధానంగా ఒక గణిత సమీకరణం తయారు చేసేరు. ఈ సమీకరణం ఏ సంభావ్యతతో విస్తరిస్తుందో చెబుతుంది కానీ, ఆ విస్తరణకు ఎంత సేపు పడుతుందో చెప్పలేదు!

టూకీగా ఇదీ యంతరపి కథ!

మరొక కోణం

ఎంట్రోపి అనేది ఒక వియుక్త ఉహనం (abstract concept). గభీమని అర్థం కాదు; గణితం లేకుండా, గుణాత్మకంగా కొంతవరకు అర్థం చేసుకోవచ్చు కానీ లోతుగా తరచి చూడాలంటే గణితం సహాయంతో పరిమాణాత్మక దృక్కోణం తప్పనిసరి!

ఇంగ్లీషు భాష లోకి ఈ మాట, సా. శ. 1865 లో, క్లేసియస్ (Classius) ప్రవేశపెట్టేడు. ఈ మాట భౌతిక శాస్త్రంలోని తాపగతి శాస్త్రం (thermodynamics) లో పుట్టినా, ఇది ఎంతో మౌలికమైన భావం కనుక ఇతర రంగాలలోకి కూడా వ్యాపించింది. కాని ఇక్కడ మనం ఇప్పుడు భౌతిక శాస్త్రపు దృష్టితో మాత్రమే మాట్లాడుకుందాం.

ఎంట్రోపి అంటే అంతర్గత పరిణామం అని రూఢ్యర్థం. అనగా, ఒక వ్యవస్థలో అంతర్గతంగా జరిగే మార్పులకి అద్దం పట్టే ఒక సూచిక. దూరాన్ని కిలోమీటర్లులో కొలుస్తాం, బరువుని కిలోగ్రాములలో

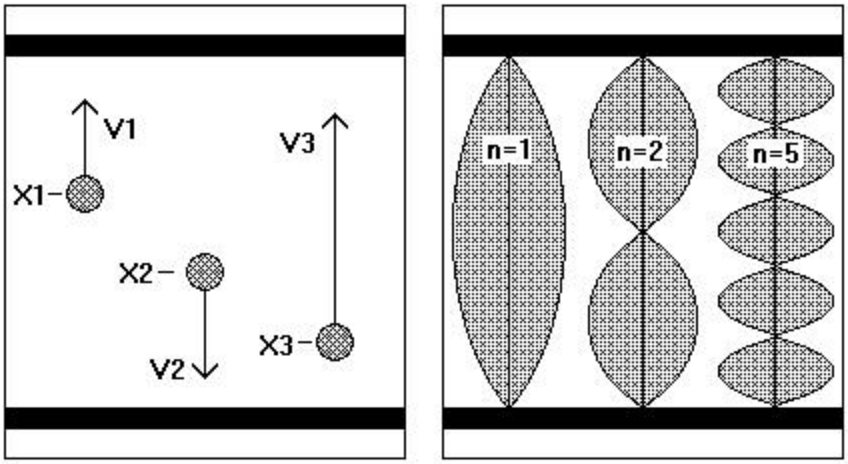
కొలుస్తాం. అలాగే ఒక వ్యవస్థలో అంతర్గతంగా జరిగే మార్పులని కొలవడానికి వాడే కొలమానం పేరు “ఎంట్రోపీ” అని ఇంగ్లీషు లోను, “యంతరపి” అని తెలుగు లోనూ అంటారు.

అంతర్గతంగా జరిగే మార్పులంటే? చిన్న ఉదాహరణతో మొదలు పెడదాం. మన శరీరమే ఉంది. ఈ శరీరం ఏ స్థితి (state) లోఉందీ తెలుసుకోవాలంటే మన శరీరపు తాపోగ్రత (tempretature), రక్తపు పోటు (blood pressure), నాడి (pulse), వగైరాలు కొలుస్తాము కదా. ఈ కొలతలని బట్టి శరీరం ఆరోగ్య స్థితిలో ఉందీ, రోగ స్థితిలో ఉందీ తెలుస్తుంది. ఒళ్ళు వెచ్చగా ఉందనుకొండి. ఈ వెచ్చదనం స్థూలంగా కథ చెబుతుంది కానీ ఒళ్ళు వెచ్చబడడానికి అంతర్గతంగా తిష్ట (infection) వంటి మరేదో కారణం ఉంటుంది. అలాగే రక్తపు పోటు ఫలానా విలువని చూపిస్తున్నాదంటే దానికి అంతర్గతంగా కొన్ని కారణాలు ఉండొచ్చు కదా. కనుక ఒక వ్యవస్థ యొక్క స్థూల స్థితి (macro state) కి అంతర్గతంగా అనేక సూక్ష్మ స్థితులు (micro states) కారణాలు కావచ్చు.

ఇక్కడ ముఖ్యంగా గమనించవలసిన విషయం ఏమిటంటే సూక్ష్మ స్థితులలో లక్షలాది మార్పులు జరుగుతున్నా స్థూల స్థితిలో మార్పులు కనిపించకపోవచ్చు. మన శరీరపు తాపోగ్రతలో మార్పు లేనంత మాత్రాన అంతర్గతంగా మార్పులు లేవనా? మరొక ఉదాహరణ. ఒక జాడీలో ఉన్న వాయువు యొక్క తాపోగ్రత, పీడనం (pressure), ఉరువు (volume), మొదలైన స్థూల లక్షణాలలో ఏమాత్రం మార్పు లేకపోయినా సరే ఆ వాయువులో ఉన్న అణువులు, బణువులు నిరంతరం కదులుతూనే ఉంటాయి, గుద్దుకుంటూనే ఉంటాయి. ఆ జాడీలో అణువులు ఎప్పుడు, ఎక్కడ ఉన్నాయో, అవి ఎంత జోరుగా ప్రయాణం చేస్తున్నాయో, ఎంత తరచుగా గుద్దుకుంటున్నాయో వర్ణించడానికి సూక్ష్మ స్థితి కావలసి ఉంటుంది. ఈ సూక్ష్మ స్థితిలో నిరంతరం మార్పు జరుగుతూ ఉన్నా, స్థూలంగా మార్పు కనబడకపోవచ్చు.

కొంచెం లోతుకి తరచి చూద్దాం. ఒక జాడీలో ఎన్ని అణువులు ఉన్నాయో మనకి నిక్కచ్చిగా తెలుసని అనుకుందాం. ఈ అణు సమూహం పరిస్థితిని వర్ణించడానికి ఎన్ని సూక్ష్మ స్థితులు కావలసి ఉంటుంది? కనీసం ప్రతి అణువు ఎక్కడుందో (దాని స్థానం, x), ఎంత జోరుగా, ఏ దిశలో కదులుతో దో (దాని వేగం, v) తెలియాలి. స్థానం, వేగం నిజ సంఖ్యలు (real numbers) కనుక వాటి విలువలని పరిమితమైన హద్దులలో ఉంచినా అవి అనంతమైనన్ని విలువలని స్వీకరించగలవు. (They can assume infinite number of possible values even if confined within a finite limit.) కనుక వాయువులో ఉన్న అణు సమూహం పరిస్థితిని వర్ణించడానికి అనంతమైనన్ని సూక్ష్మ స్థితులు కావలసి ఉంటుంది! ఇది చిక్కులని తెచ్చిపెడుతుంది. ఉష్ణ వికిరణాన్ని అధ్యయనం చేస్తూ , ఇటువంటి పరిస్థితిలోనే చిక్కుపడి మేక్స్ ప్లేంక్ ఉష్ణ శక్తి గుళికల మాదిరి ప్రవహించాలి అంటూ గుళిక

వాదానికి అంకురార్పణ చేసేడు కదా. అదే విధంగా సంప్రదాయిక భౌతిక శాస్త్రం ఇక్కడ కూడా పని చెయ్యదు; గుళిక వాదం వాడాలి!



బొమ్మ. మూడు అణువుల స్థితిగతులు. ఎడమ పక్క: సంప్రదాయిక శాస్త్రం ప్రకారం,
కుడి పక్క: గుళిక శాస్త్రం ప్రకారం.

సంప్రదాయిక భౌతిక శాస్త్రానికి గుళిక వాదానికి మధ్య తేడాని చిన్న ఉదాహరణ ద్వారా చూపెడతాను. బొమ్మలో ఎడమ పక్క సంప్రదాయిక భౌతిక వాదం, కుడి పక్క గుళిక వాదం. ఎడమ పక్క, ఒక గదిలో, మూడు అణువులు ఉన్నాయి. ఇవి కేవలం ఒక దిశలో - అనగా పైకి, కిందికి - కదలగలవని అనుకుందాం. వాటి స్థానాలు (x), వేగాలు (v) బొమ్మలో చూపించేను. ఈ రెండు చలరాసులు అనంతమైనన్ని విలువలు పొంద గలవు. గుళిక వాదంలో ఈ మూడింటిని బిందువులలా కాకుండా నిలకడ తరంగాలు (standing waves) గా, కుడి వైపు బొమ్మలో చూపినట్లు, ఉహించుకుంటాం. మనకి ఉన్న స్థలంలో ఒకటో, రెండో, మూడో, ..., ఐదో, పదో తరంగాలు ఇముడుతాయి కదా. ఇలా మనకి ఉన్న స్థలంలో ఎన్ని తరంగాలు పడతాయో ఆ సంఖ్యని తరంగపు సంఖ్య (wave number), n, అందాం. ఈ n విలువ 1, 2, 3,...,10,... ఇలా ఏదైనా పూర్ణ సంఖ్య కావచ్చు. .

నిజానికి అణువులు ఉన్న ప్రదేశానికి పొడుగు (x), వెడల్పు (y), లోతు (z) ఉంటాయి కనుక ప్రతి అణువుకి 3 దిశలలో తరంగపు సంఖ్యలు (n_x, n_y, n_z) ఉంటాయి. జాడీలో ఎన్ని అణువులు ఉన్నాయి? ప్రస్తుతానికి N అణువులు ఉన్నాయని అనుకుందాం. ప్రతి అణువు 3 దిశలలో ఊగిసలాడుతూ ఉంటుంది. ఎంత జోరుగా ఊగిసలాడుతూ ఉంటుంది? అనగా తరంగపు సంఖ్య n ఎంతయి ఉంటుంది? ఇక్కడ లెక్క సౌలభ్యానికి $n = 8$ అనుకుందాం. ఇప్పుడు జాడీలో 8^{3N}

తరంగపు బాణీలు కనిపిస్తాయి. జాడీలో చాల అణువులు ఉంటాయి కదా! ప్రస్తుతానికి $N = 10^{20}$ అనుకుందాం. ఇప్పుడు జాడీలో ఉన్న సూక్ష్మ స్థితులు $= 8^{3\times 10^{20}}$. ఇది లెక్క కడితే చాలా పెద్ద సంఖ్య వస్తుంది.

ఉదాహరణకి గది తాపోగ్రత (300 K) వద్ద, వాతావరణపు ఒత్తిడి వద్ద, ఉన్న ఒక మోలు ఆర్గాన్ వాయువులో ఎన్ని సూక్ష్మ స్థితులు (micro states) ఉన్నాయో లెక్క కడితే $g = 10^{4,870000,000000,000000,000000} = 4.87 \times 10^{24}$ సూక్ష్మ స్థితులు అని తేలింది. ఇది చాలా, చాలా, చాలా పెద్ద సంఖ్య - కానీ అనంతం (infinity) కాదు!

ఇంతింత పెద్ద సంఖ్యలతో వేగడం కష్టం. అందుకని దీనిని మచ్చిక చేసుకుందుకుగాను దీని స్థానంలో దీని సంవర్గమానం (“లాగరిథమ్”) విలువని ఉపయోగిస్తాం. అప్పుడు

$S = k \ln g$, where $k = 1.38 \times 10^{-23} Joules/K$

వస్తుంది. ఈ S కి ఎంట్రోపీ అని పేరు పెట్టేరు. నేను యంతరపి అంటున్నాను. ఈ సమీకరణంలో k అనే దానిని బోల్ట్^జ్మన్ స్థిరాంకం (Boltzmann constant) అంటారు. కనుక ఎంట్రోపీ (యంతరపి) అనేది సూక్ష్మ స్థితులు ఎన్ని ఉన్నాయో సూచించే సంఖ్య.

మన ఆర్గాన్ వాయువు విషయంలో లెక్క పూర్తి చేస్తే $S_{argon} = 1.55\, kJoules/K\, mole$ వస్తుంది.

14. మేక్స్వెల్ సమీకరణాలు ఏమిటి చెబుతున్నాయి?

భౌతిక శాస్త్ర ప్రపంచంలో నూటన్, అయిన్^స్టయిన్ ల సరసన ఉండదగ్గ మేక్స్వెల్ విద్యుదయస్కాంత తత్త్వాంని నాలుగు గణిత సమీకరణాలలో పొందుపరచేరు. నూటన్ గమన సూత్రాలు (Newton's Laws of Motion) మనకి ఉన్నత పాఠశాలలోనే చెబుతారు. చెప్పినా, చెప్పకపోయినా అయిన్^స్టయిన్ సాపేక్షవాదం (Theory of Relativity) గురించి అందరూ ఈ నోటా ఆ నోటా వినే ఉంటారు. అదేమి విచిత్రమో కాని మేక్స్వెల్ గురించి కాని, ఆయన సమీకరణాల గురించి కాని విశ్వవిద్యాలయంలో చేరేవరకు మనం సాధారణంగా వినం! కాని మనం రోజూ వాడుకునే రేడియో, టెలివిషన్, సెల్ ఫోన్, లేసర్ వగైరా పరికరాలే కాకుండా మనకి నిత్యావసరమైన విద్యుత్తు ఉత్పత్తి కూడా ఈ నాలుగు సమీకరణాల మీదే ఆధారపడి ఉంటాయి. అయినా వీటి గురించి చాలమందికి ఎందుకు తెలియదంటే వీటిని అర్థం చేసుకోవడం చాలా కష్టం. క్లిష్టమైన గణితం. ఊహకి అందని భావం. మొట్టమొదట సారి వీటిని చూడగానే నా గుండెలలో దడ పుట్టింది. వీటిని అర్థం చేసుకోవడం ఎలానో చెబుతాను. పూర్తి కథకి నాలుగు సమీకరణలో బాగా అర్థం చేసుకోవాలి.

1. **మొదటి సమీకరణం:**

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

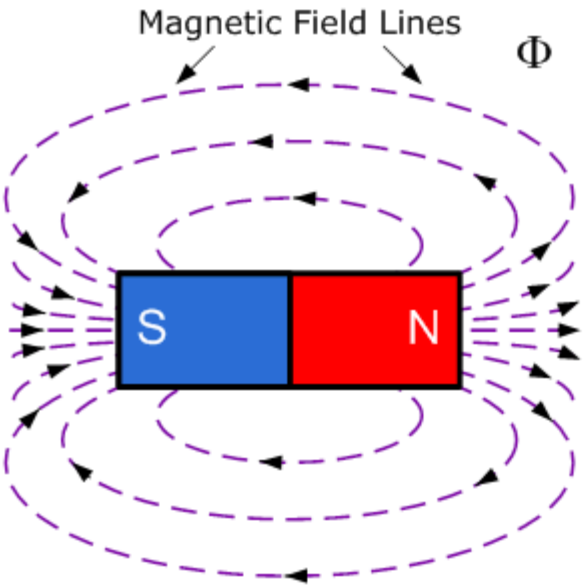
(డెల్ డాట్ B = 0 లేదా B యొక్క డైవర్జెన్స్ = 0 అని చదవాలి)

ఇది రాసినప్పుడు శీర్షం కిందకి చూపుతూన్నట్లు చిన్న త్రిభుజం వేసి దాని పక్కన ఖణిగా కనిపించేలా ఒక చుక్క పెట్టి దాని పక్కన బొద్దుగా **B** అనే అక్షరం రాసి, అదంతా సున్నతో సమానం చెయ్యాలి. చదివినప్పుడు divergence of B is equal to zero అని కానీ del dot B is equal to zero అని కానీ చదవాలి. ఇక్కడ **B** ని బొద్దుగా రాస్తాము కనుక **B** అనేది సాయకం (లేదా సదిశరాసి, లేదా vector). అనగా, బొమ్మ గీసి చూపించవలసి వస్తే ఏదో ఒక దిశలో ఒక గీత గీసి దానికి బాణం ములుకు తగిలిస్తాం. తిరగబడ్డ త్రిభుజాన్ని "డెల్" అని కానీ, "నాబ్లా" అని కానీ పలుకుతారు. ఇది కూడా సాయకమే (సదిశరాసే). బొద్దుగా ఉన్న చుక్కని "డాట్ ప్రోడక్ట్" అంటారు; అనగా రెండు సాయకాల మధ్య జరిగే ఒక ప్రత్యేకమైన గుణకారం. ఇటువంటి సంక్లిష్టమైన గణిత వివరాలన్నీ మనకి ఇప్పుడు అవసరం లేదు.

ఈ సమీకరణం మన అందరికీ అర్థం అయే భాషలో ఏమని చెబుతోంది? "ఒక అయస్కాంత క్షేత్రంలో, ఒక సంవృత ఆవరణలో, ఎక్కడ చూసినా **B** యొక్క నికర ప్రసరణ, లేదా నికర వ్యాప్తి, సున్న" అని చెబుతోంది. (In a magnetic field, the divergence of B, in an enclosed region, is always zero.) (Divergence కి కేంద్రాపసరణం, అపసరణం, వ్యాప్తి, ప్రసరణ అని తెలుగులో అర్థం చెప్పుకోవచ్చు.)

ఇది మరీ సంస్కృతంలా ఉంది కదూ! దీనిని తెలుగులోకి దింపి ఉపమానం ద్వారా అర్థం చెబుతాను. ఒక తొట్టెని ఊహించుకోండి. ఆ తొట్టెని నీళ్లతో నింపడానికి M అనే ఒక రంధ్రం, నీళ్లు బయటకి వదలడానికి N అనే ఒక రంధ్రం ఉన్నాయనుకోండి. ఇప్పుడు M మీద ఒక గుండ్రని గాజు (bangle) కానీ ఉంగరం (ring) కానీ పెట్టి ఆ "గాజు ఉన్న మేర ప్రసరణ (divergence) ఏమిటి?" అని అడిగితే సమాధానం ఏమిటి చెబుతాము? "ఆ M అనే రంధ్రం గుండా తొట్టెలోకి ఎన్ని నీళ్లు వస్తున్నాయో అంత!" అని చెబుతాము. అదే విధంగా "N అనే గాజు దగ్గర ప్రసరణ ఎంత?" అని అడిగితే "ఆ N అనే రంధ్రం గుండా తొట్టెనుండి బయటకి ఎన్ని నీళ్లు పోతున్నాయో అంత!" అని చెబుతాము కదా. ఇప్పుడు తొట్టె మధ్యలో ఆ గాజును పెట్టి అదే ప్రశ్న అడిగితే? ఉంగరం కైవారంలోకి ఎన్ని నీళ్లు వస్తున్నాయో అన్ని నీళ్లు బయటకి పోతున్నాయి కదా! కనుక ఇప్పుడు నికరంగా మిగిలిన ప్రసరణ సున్నా అవుతుంది కదా. (నిజానికి ఈ ఉపమానంలో "గుండ్రని ఉంగరం" కి బదులు "బోలు గోళీ" (hollow sphere) అని చెబితే ఇంకా బాగా నప్పుతుంది.) ఇంతటితో ఉపమానం సమాప్తం అయిపోయింది.

ఇప్పుడు ఒక అయస్కాంతపు కడ్డీని ఒక బల్ల మీద ఉంచుదాం. దానికి ఉత్తర ధ్రువం, దక్షిణ ధ్రువం ఉంటాయి కదా. ఉత్తర ధ్రువం నుండి బయలుదేరిన అయస్కాంత బలపు రేఖలు (lines of force) దక్షిణ ధ్రువం వైపు వెళతాయని చిన్నప్పుడు చదువుకున్నాం కదా. ఇటువంటి బలపు రేఖలు బల్ల అంతటినీ ఆవరించి ఉంటాయి కనుక దీనిని అయస్కాంత క్షేత్రం (field) అంటారు. (భౌతిక శాస్త్రంలో ఒక ప్రదేశం "అంతటినీ" ఆక్రమించినదానిని "క్షేత్రం" (field) అంటారు.) ఇటువంటి బలపు రేఖలని వర్ణించి చెబుతుంది **B** అనే అక్షరం. అనగా ఆ బలపు రేఖలు ఎంత దట్టంగా ఉన్నాయి? ఎంత బలంగా ఉన్నాయి? వగైరా.



బొమ్మ 1. ఒక అయస్కాంతపు కడ్డీ చుట్టూ ప్రభవించిన క్షేత్రం

ఇప్పుడు ఒక చిన్న ఉంగరాన్ని (లేదా, బోలు గోళీ ని) ఈ క్షేత్రంలో ఎక్కడో ఒక చోట పెడదాం. ఉంగరంలోకి ఎన్ని బలపు రేఖలు వెళ్ళుతున్నాయో అన్నీ బయటకి వచ్చేస్తున్నాయి కదా! అనగా ఉంగరం ఉన్న మేరలో కొత్తగా బలపు రేఖలు పుట్టి బయటకి రావడం లేదు, లోపలికి వెళ్ళిన రేఖలు లోపల నాశనం అవడం లేదు. అనగా ఉంగరం లోపల నికరంగా జరిగిన ప్రసరణ శూన్యం. ఈ ఉంగరాన్ని క్షేత్రంలో ఎక్కడ పెట్టి చూసినా ఇదే ఫలితం వస్తుంది. ఉదాహరణకి ఉంగరాన్ని ఉత్తర ధ్రువం మీద పెట్టి చూద్దాం. ఇప్పుడు బలపు రేఖలు అన్నీ బయటకే వస్తున్నాయి కదా. అనగా ఉంగరం లోపల (అనగా, ఉత్తర ధ్రువం దగ్గర) బలపు రేఖలకి ఒక జనకస్థానం (source) ఉన్నట్లే కదా? అప్పుడు ఉంగరం లోపల నికరంగా ప్రసరణ శూన్యం ఎలా అవుతుంది? నిజానికి - బొమ్మలో చూపలేదు కానీ - అయస్కాంతపు కడ్డీ లోపల కూడా బలపు రేఖలు ఉన్నాయి; అవి దక్షిణ ధ్రువం నుండి ఉత్తర ధ్రువం వైపు ప్రసరిస్తూ ఉంటాయి. అనగా అయస్కాంతపు బలపు రేఖలకి మొదలూ, చివరా ఉండవు; తోకని తింటూన్న పాములులా గుండ్రంగా ఉంటాయి. వీటిని కూడా లెక్కలోకి తీసుకుంటే అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఎక్కడ చూసినా ఉంగరం వంటి సంవృత ప్రదేశం (closed enclosure) లో నికరపు ప్రసరణ శూన్యంగానే ఉంటుంది.

అయస్కాంతాన్ని మధ్యకి కోసి ఒక్క ఉత్తర ధ్రువాన్నే మిగిల్చితే? అది కుదరదు. ఎందుకంటే అయస్కాంతాన్ని ఎంత చిన్న ముక్క చేసినా ఆ చిన్న ముక్కకి మళ్ళా ఉత్తర, దక్షిణ ధ్రువాలు ఉంటాయి.

అనగా మన భమిడిపాటి రామగోపాలం చెప్పినట్లు అయస్కాంత క్షేత్రాలు మన ప్రభుత్వోద్యోగులవంటివి. పని జరగాలంటే ఉత్తరం, దక్షిణ రెండూ ఉండాలి!

కనుక “**B** యొక్క డైవర్జెన్స్ = 0” అన్నప్పుడు “ఒంటి ధ్రువం అయస్కాంతాలు ఉండవు!” అని కూడా చెబుతున్నాం అన్నమాట. There are no magnetic monopoles. ఒక వేళ magnetic monopoles ఉన్నాయని ఎవ్వరైనా రుజువు చేస్తే భౌతికశాస్త్రం అంతటినీ కూకటి వేళ్ళతో పెల్లగించి, తిరిగి నిర్మించవలసి వస్తుంది. బహుపరాక్!

ఇదంతా గందరగోళంగా ఉంది కదా. అందుకనే పరిణతి చెందిన బుర్రకి కానీ ఈ అంశం గభీమని అర్థం కాదు.

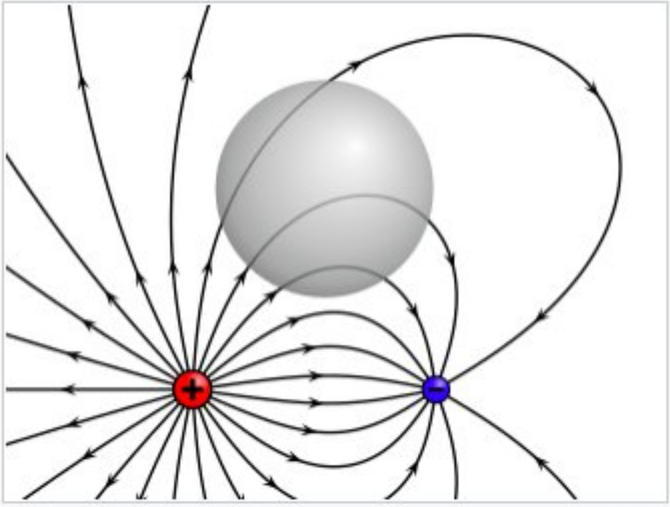
2. రెండవ సమీకరణం

మేక్స్వెల్ మనకి ప్రసాదించిన మరొక సమీకరణం గురించి చదివే ముందు మనకి విద్యుత్ ఆవేశం (electric charge) అంటే ఏమిటో తెలియాలి. విదుత్ ఆవేశం అనేది భౌతిక పదార్థాలకి ఉండే అనేక లక్షణాలలో ఒకటి. ఉదాహరణకి భౌతిక పదార్థాలకి ఆకారం ఉంటుంది, బరువు ఉంటుంది. ఆ పదార్థానికి బరువు అనే లక్షణం ఉన్నట్లు మనకి ఎలా తెలుస్తుంది? ఆ పదార్థాన్ని తక్కెడలో పెడితే ఒక సిబ్బి మీద ఏదో బలప్రయోగం జరిగినట్లు సిబ్బి కిందకి దిగుతుంది. అలాగే పదార్థాలకి “విద్యుత్ ఆవేశం” అనే లక్షణం కూడా ఉంటుంది. ఈ లక్షణం ఉందో లేదో మనకి ఎలా తెలుస్తుంది? ఆ పదార్థాన్ని విద్యుదయస్కాంత క్షేత్రంలో పెడితే దాని మీద ఏదో బలప్రయోగం జరుగుతూన్న అనుభవంతో అది ముందుకో, వెనక్కో కదులుతుంది. (తక్కెడ సిబ్బి కదలినట్లు!) ఆ కదలికని ఆసరాగా చేసుకుని ఆ బలం ఎంతో, ఏ దిశలో లాగుతూందో తెలుసుకోవచ్చు.

విద్యుత్ ఆవేశాలు రెండు రకాలు; వాటిని ధన ఆవేశం, రుణ ఆవేశం అందాం. ఉదాహరణకి ఎలక్ట్రానుల మీద ఉన్నది రుణ ఆవేశం, ప్రోటానుల మీద ఉన్నది ధన ఆవేశం. ఇటూ, అటూ కాకుండా తటస్థంగా ఉండే పదార్థాలు కూడా ఉన్నాయి కాని వాటి సంగతి ఇప్పుడు అవసరం లేదు. ఆడ-మగ మధ్య ఆకర్షణ ఉన్నట్లే భిన్న ఆవేశాల (ఉ. ధన-రుణ) మధ్య ఆకర్షణ ఉంటుంది; సజాతి ఆవేశాల (ఉ. ధన-ధన, రుణ-రుణ) మధ్య వికర్షణ ఉంటుంది. ఇది పదార్థాల లక్షణం. మనం చెయ్యగలిగేది ఏమీ లేదు. (పదార్థాలకి ఎందుకు ఈ లక్షణం అబ్బింది అన్నది పరిశోధనాంశం!)

విద్యుత్ ఆవేశం ఉన్న ఒక రేణువు ఎక్కడ ఉన్నా దాని పరిసరప్రాంతం అంతటిలోనూ ఒక విద్యుత్

క్షేత్రం విస్తరించి ఉంటుంది. (అయస్కాంతం ఎక్కడ ఉన్నా దాని చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రం ఉన్నట్లే!) ఈ విద్యుత్ క్షేత్రంలో మరొక ఆవేశం గల రేణువుని ప్రవేశపెడితే అది ఆకర్షణ బలానికి కాని వికర్షణ బలానికి కానీ గురి అవుతుంది. అనగా, మన కంటికి కనబడకపోయినా, విద్యుత్ క్షేత్రం నిండా బలపు రేఖలు ఉంటాయన్న మాట. (అయస్కాంత క్షేత్రపు బలపు రేఖల మాదిరిగానే!) ఈ దిగువ బొమ్మలో అటువంటి విద్యుత్ క్షేత్రం ఒకటి చూపెడుతున్నాను.



No charge is enclosed by the sphere. Electric flux through its surface is zero.

బొమ్మ 2. ధన-రుణ విద్యుదావేశాల మధ్య ప్రభవించిన విద్యుత్ క్షేత్రం (వికీపీడియా సౌజన్యంతో)

ఇప్పుడు మనకి కావలసిన మేక్స్వెల్ సమీకరణాన్ని ఈ దిగువ చూపెడుతున్నాను.

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

(“డెల్ డాట్ E = రో ఓవర్ ఎప్సిలాన్ జీరో” అని కానీ లేదా “divergence of E = rho/epsilon_0” అని కానీ చదవాలి)

దీనిని ఇంతకు పూర్వం చూసిన

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

(డైవర్జెన్స్ అఫ్ B = 0)

తో పోల్చి చూద్దాం. ఎడం పక్క అయస్కాంత తత్త్వాన్ని సూచించే **B** కి బదులు విద్యుత్ తత్త్వాన్ని సూచించే **E** ఉంది. కాని కుడి పక్క సున్న కి బదులు "రో" అనే గ్రీకు అక్షరం ఉంది. ఈ "రో" విద్యుత్ ఆవేశం యొక్క సాంద్రత (charge density) ని సూచిస్తుంది. కుడి పక్క హారంలో ఉన్న epsilon_0 ఒక స్థిరాంకం. దీని సంగతి తరువాత చూద్దాం. అయస్కాంత తత్త్వాన్ని సూచించే **B** యొక్క ప్రసరణ (డైవర్జెన్స్) సర్వత్రా సున్న కనుక అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఎక్కడా కూడా బలపు రేఖలకి జనకస్థానాలు (sources), మరణస్థానాలు (sinks) లేవు అన్నాము. ఇక్కడ కుడి పక్క "రో" ఉంది కనుక విద్యుత్ క్షేత్రంలో జనకస్థానాలు (అనగా, ధన ఆవేశం ఉన్న కేంద్రాలు), మరణస్థానాలు (అనగా, రుణ ఆవేశం ఉన్న కేంద్రాలు) ఉన్నాయన్నమాట. అదీ ఈ రెండు సమీకరణాలకీ మధ్య తేడా! తప్పితే మిగిలిన కథ అంతా రెండింటికి ఒక్కటే!

ఇక్కడ గమనించ వలసిన సంగతి ఒకటి ఉంది. ఈ రెండు సమీకరణాలలోనూ కదలిక ప్రసక్తి లేదు; అయస్కాంతం నిశ్చలంగా ఉంది, ఆవేశాలు నిశ్చలంగా ఉన్నాయి. అందుకనే సమీకరణాలలో ఎక్కడా "కాలం" (time) కనబడ లేదు. మిగిలిన రెండు సమీకరణాలలోనూ కదలికని లెక్కలోకి తీసుకుంటాం.

పై బొమ్మలో ఎర్రగా + గుర్తుతో ఉన్నది ధన ఆవేశం ఉన్న రేణువు. నీలంగా - గుర్తుతో ఉన్నది రుణ ఆవేశం ఉన్న రేణువు. సంప్రదాయం ప్రకారం బలపు రేఖలు ధన రేణువు నుండి రుణ రేణువు వైపు వెళుతూన్నట్లు బాణం గుర్తు పెడతారు. బొమ్మలో గచ్చకాయ రంగులో ఉన్నది నేను చెప్పే “ఉంగరం”. నిజానికి దీనిని “బోళా గోళం” లా ఊహించుకోవాలి. ఈ “గచ్చకాయ” లోపలికి ఎన్ని గీతలు వెళుతున్నాయో బయటకి అన్నే గీతలు వస్తున్నాయి. కనుక ఈ గచ్చకాయ ఉన్న చోట “డైవర్జెన్స్ = 0.” కానీ, గచ్చకాయని ఎర్ర చుక్క మీద పెడితే అక్కడ “డైవర్జెన్స్” సున్న కాదు; 24 గీతలు బయటకి వస్తున్నాయి కనుక అక్కడ “డైవర్జెన్స్ = 24” అని మనం అనుకోవచ్చు. (నిజానికి ఈ బొమ్మ కార్టూన్ బొమ్మ మాత్రమే!). క్షేత్రంలో అన్ని చోట్లా డైవర్జెన్స్ సున్న కాదు కనుక మనం పై సమీకరణంలో “రో/ఎప్సిలాన్” అని రాసేము.

ముక్తాయింపు: ఇంతకీ ఈ సూత్రం ఏమని చెబుతూన్నట్లు?

The electric flux across any closed surface is proportional to the net electric charge enclosed by the surface. అనగా, ఒక బంతి ఆకారంలో ఉన్న ప్రదేశం నుండి బయటకి వచ్చే

విద్యుత్ బలపు రేఖలు (electric flux or electric field lines) ఆ బంతి లోపల ఉన్న విద్యుదావేశపు సాంద్రత (rho) ఎంత ఉందో దానికి అనులోమ అనుపాతంలో ఉంటాయి; ఎక్కువ ఆవేశం లోపల ఉంటే ఎక్కువ బలపు రేఖలు బయటకి వస్తాయి. ఈ అనుపాత స్థిరాంకం (constant of proportionality) ని ఇంగ్లీషులో permittivity of free space అంటారు. దానిని ఇక్కడ "epsilon-0" అనే గ్రీకు అక్షరంతో సూచించేం. (ఇది ఒక మాధ్యమంలో విద్యుత్ తలీకరణాన్ని (polarization ని) ప్రోత్సహించే లక్షణాన్ని సూచిస్తుంది.)

ఇప్పుడు మేక్స్వెల్ ప్రవచించిన నాలుగు సమీకరణాలని సంప్రదాయికం అయిన వరసలో చూపిస్తాను.

క. ఒకటవ సమీకరణం

డైవర్జెన్స్ అఫ్ **E** = రో/ఎప్సిలాన్_0

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

దీనిని గౌస్ సూత్రం (Gauss' Law) అని కూడా అంటారు. దీని అర్థం ఏమిటంటే విద్యుత్ ఆవేశాలు (ఇక్కడ "రో" అనే అక్షరంతో చూపించేను) విద్యుత్ క్షేత్రాల పుట్టుకకి కారణం. అనగా, విద్యుత్ ఆవేశం ఉన్న చోటల్లా ఒక విద్యుత్ క్షేత్రం స్వయంచాలితంగా (ఆటోమేటిక్ గా) ఉద్భవిస్తుంది.

చ . రెండవ సమీకరణం

డైవర్జెన్స్ అఫ్ **B** = 0

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

దీని అర్థం ఏమిటంటే అయస్కాంత ధ్రువాలు అయస్కాంత క్షేత్రాల పుట్టుకకి కారణభూతాలు. ఉత్తర-దక్షిణ అయస్కాంత ధ్రువాల జంట ఉన్న చోటల్లా ఒక అయస్కాంత క్షేత్రం స్వయంచాలితంగా ఉద్భవిస్తుంది. అయస్కాంత ధ్రువాలు "ఉత్తర-దక్షిణ" జంటలుగా తప్ప ఒంటిగా ప్రకృతిలో ఉండవు.

ఈ రెండు సమీకరణాలు అర్థం చేసికోవడం తేలిక. వీటిల్లో కాలం (time) ప్రసక్తి లేదు. ఈ రెండు సమీకరణాలలోనూ వచ్చే గణిత సాంకేతిక పదం "డైవర్జెన్స్" అంటే “కూడలికి వ్యతిరేకమైన” అని అర్థం. ఒక క్షేత్రంలో జనకస్థానాలు ఉన్న చోట ఈ "డైవర్జెన్స్" ధన రాశి, మరణస్థానాలు ఉన్న చోట ఈ "డైవర్జెన్స్"

రుణ రాశి, ఏవీ లేని చోట ఈ "డైవర్జెన్స్" విలువ సున్న. అయస్కాంత క్షేత్రాలలో జనకస్థానాలు, మరణస్థానాలు ఉండవు.

ఇప్పుడు మిగిలిన రెండు సమీకరణాలనీ చూద్దాం.

ట. మూడవ సమీకరణం

కర్ల్ అఫ్ **E** = - d**B**/dt

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

ముందు కుడి పక్క ఉన్న d**B**/dt ని చూద్దాం. ఇది కాలం గడుస్తూన్నకొద్దీ "కర్ల్ అఫ్ **E"** ఎంత జోరుగా మారుతూందో చెబుతోంది. దీనినిబట్టి కాలంతో పాటు **B** విలువ మారుతోందని మనం గ్రహించాలి. ఒక అయస్కాంత క్షేత్రం నిలకడగా ఉండకుండా కాలంతో పాటు మారుతూ ఉంటే ఆ మార్పు ఒక విద్యుత్ క్షేత్రం **E** పుట్టుకకి కారణభూతం అవుతుందని చెబుతోంది. "కర్ల్" అంటే "నీటిలో సుడిగుండం" లాంటి భావన. దీని గురించి తరువాత చూద్దాం. ముఖ్యంగా గమనించవలసినది ఏమిటంటే అయస్కాంత క్షేత్రం **B** మారుతూ ఉంటే ఆ మార్పు వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రం **E** పుడుతుంది.

4త. నాలుగవ సమీకరణం

కర్ల్ అఫ్ **B** = mu_0 (**J** + epsilon_0 x d**E**/dt)

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right)$$

దీనినే Ampere's Circuital Law అని కూడా అంటారు. ఇక్కడ కుడి పక్క రెండు అంశాలు ఉన్నాయి. అనగా, అయస్కాంత క్షేత్రం **B** పుట్టడానికి రెండు కారణాలు ఉన్నాయి: (1) ఒక తీగలో విద్యుత్ ప్రవాహం (electric current **J**) ఉన్నప్పుడు కానీ, (2) విద్యుత్ క్షేత్రం కాలానుగుణంగా మారుతూన్నప్పుడు (d**E**/dt) కానీ.

ఈ సమీకరణం ఏమిటి చెబుతున్నాది? ఒక అయస్కారంత క్షేత్రంలో ఒక బిందువు దగ్గర **B** యొక్క "సుడి" (curl) విలువ ఎలా కట్టాలో చెబుతోంది. నదిలోని నీళ్ళల్లో ఎండిన పుల్లని పడేసేమనుకొండి. ఆ పుల్ల ప్రతి ఘుడి దిశ (counterclockwise direction) లో తిరిగితే ఆ ప్రవాహ క్షేత్రపు సుడి ధన రాశి అవుతుంది. ఆ పుల్ల అనుఘుడి దిశ (clockwise direction) లో తిరిగితే దాని సుడి రుణ రాశి అవుతుంది. ఆ పుల్ల ప్రవాహంతో పాటు తిన్నగా వెళ్ళిపోతే ఆ ప్రవాహపు సుడి = 0.

గణితపరంగా ఈ సుడి (curl) అనేది ఒక సాయకం (vector). అనగా సుడికి ఒక విలువ (magnitude), ఒక దిశ (direction) ఉంటాయి. గిర్రుమని తిరిగే అంశానికి నిర్దిష్టమైన దిశని ఎలా నిర్దేశించడం? అందుకని ఒక సూత్రం ఉపయోగిస్తారు. కుడి చేతిని మూసినప్పుడు వేళ్ళు సుడి తిరిగే దిశని సూచిస్తున్నాయని అనుకున్నప్పుడు పైకి లేచిన బొటనవేలు సుడి అనే సాయకం ఏ దిశలోఉండాలో చెబుతుంది. సుడిగుండం ఎంత జోరుగా తిరుగుతోందో అది సాయకం ఎంత పొడుగు ఉండాలో చెబుతుంది. ఈ అంశం అర్థం కాకపోతే భయపడవద్దు. క్రమేణా అదే అర్థం అవుతుంది.

సమీకరణం కుడి పక్క ఉన్న గ్రీకు అక్షరం μ_0 (mu zero) ఒక స్థిరాంకం. దీనిని permeability of free space అంటారు. విద్యుత్ క్షేత్రాలకి ε_0 (epsilon zero) ఎలాంటిదో అయస్కాంత క్షేత్రాలకి μ_0 అలాంటిది. శూన్యం లో అయస్కాంత క్షేత్రం ప్రభవించడానికి ఎంత ప్రయాస పడాలో చెబుతుంది ఈ స్థిరాంకం. అనగా, అయస్కాంత ప్రవాహాన్ని తనగుండా పారనిచ్చే లక్షణం.

కుడి పక్క ఉన్న J ని ఇంగ్లీషులో displacement current అంటారు. ఇక్కడ కరెంట్ అంటే విద్యుత్ ప్రవాహం. రెండు రకాల విద్యుత్ ప్రవాహాలు ఉన్నాయి: ఒకటి conduction current, మరొకటి displacement current. ఒక తీగలో విద్యుత్ ప్రవాహం (conduction current) ఉన్నప్పుడు దాని చుట్టూ ఒక అయస్కాంత క్షేత్రం పుడుతుందని చెప్పుకున్నాం కదా. తీగలో విద్యుత్ ప్రవాహం లేకపోయినా ఆ తీగ చుట్టూ ఉన్న విద్యుత్ క్షేత్రం లో మార్పు ఉన్నప్పుడు కూడా ఆ తీగ చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రం పుడుతుంది కనుక ఆ అయస్కాంత క్షేత్రపు ప్రభావం వల్ల పుట్టిన ప్రవాహానికి displacement current అని పేరు పెట్టేరు. అనగా విద్యుత్ క్షేత్రాలు అయస్కాంత క్షేత్రాలని పుట్టిస్తాయి, అయస్కాంత క్షేత్రాలు విద్యుత్ క్షేత్రాలని పుట్టిస్తాయి. (electric fields can induce magnetic fields, and magnetic fields can induce electric fields.)

పురోహితుడు చదివే మంత్రాలు అర్థం కాకపోయినా బుద్ధిగా కూర్చుని పూజ చేసినందుకు ఫలితం దక్కాలి కదా. కనుక పైన చెప్పిన "మంత్రాలు" అర్థం కాకపోయినా వాటి సారాంశం ఏమిటంటే - ఒక

ప్రదేశంలో అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని రెండు విధాలుగా పుట్టించవచ్చు: (1) అక్కడ ఉన్న విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని మార్చడం వల్ల, (2) ఆ ప్రదేశంలోకి ఆవేశపూరితమైన రేణువుల ప్రవాహం వల్ల!

మరొక విషయం గమనించాలి. సమీకరణాలు (3), (4) జమిలి (simultaneous) సమీకరణాలు. అనగా **B, E** లు ఒకదానిమీద మరొకటి ఆధారపడి ఉంటాయి. అందుకనే వీటిని వర్ణించేటప్పుడు "విద్యుదయస్కాంత" అనే విశేషణం వాడతారు.

పై సమీకరణాలని ఉపయోగించి కొంచెం పరిశ్రమ చేస్తే ఈ దిగువ క్రోడీకరించిన సమాచారాన్ని రాబట్టవచ్చు.

1. (నిలకడగా ఉన్న) విద్యుత్ ఆవేశాలు విద్యుత్ క్షేత్రాలని పుట్టిస్తాయి.

2. కదిలే విద్యుత్ ఆవేశాలు (moving charges లేదా కరెంట్ లు) అయస్కాంత క్షేత్రాలని పుట్టిస్తాయి.

3. త్వరణంతో కదిలే విద్యుత్ ఆవేశాలు (accelerating charges) విద్యుత్ అయస్కాంత తరంగాలని (electromagnetic waves ని) పుట్టిస్తాయి.

4. అయస్కాంత క్షేత్రంలో విద్యుత్ ఆవేశాలు ఉంటే ఆ క్షేత్రం ఆ ఆవేశాలని తన ప్రవాహానికి లంబ దిశలో బలంతో తోస్తాయి.

5. ఒక విద్యుత్ క్షేత్రంలో విద్యుత్ ఆవేశాలు ఉంటే (అవి కదులుతూ ఉన్నా, స్థిరంగా ఉన్నా) ఆ క్షేత్రం ఆ ఆవేశాలని బలంతో వికర్షించనైనా వికర్షిస్తుంది లేదా బలంతో ఆకర్షిస్తుంది.

మనకి నిత్య జీవితంలో వీటి ఉపయోగం ఏమిటని మీరు అడగవచ్చు. ఉదాహరణకి పై జాబితాలో ఇచ్చిన 3 వ అంశం - అనగా "త్వరణంతో కదిలే విద్యుత్ ఆవేశాలు" అనే అంశాన్నే - తీసుకుందాం. "త్వరణం" (acceleration) అంటే వేగం (velocity) లో మార్పు. కదిలే దిశ మారినా, కదిలే జోరు మారినా "వెలాసిటీ" మారినట్లే. కనుక ఒక తీగలో విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని ముందుకీ వెనక్కీ జోరుగా మార్పిడి చేస్తూ ఉంటే ఆ తీగ నుండి విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు పుట్టి అన్ని దిశలలోకీ ప్రసరిస్తాయి. రేడియో, టెలివిషన్, సెల్ ఫోను వగైరాలలోని "ఎంటెనాలు" ఈ సూత్రం మీదనే ఆధారపడతాయి. మరొక ఉదాహరణగా పై జాబితాలో ఇచ్చిన 4 వ అంశం తీసుకుందాం. ఎలక్ట్రికల్ మోటారుల నిర్మాణానికి ఈ సూత్రం కీలకం. ఇలా వందలకొద్దీ ఉదాహరణలు చెప్పుకోవచ్చు.

15. డిరాక్ సమీకరణం

భౌతిక శాస్త్రంలో మనం మొట్టమొదట నేర్చుకునేవి న్యూటన్ నుడివిన సూత్రాలు.

కానీ న్యూటన్ సూత్రాలు, సమీకరణాలు సూక్ష్మ ప్రపంచంలో పని చెయ్యవు. అనగా అణు ప్రమాణంలో ఉన్న ప్రపంచంలో పని చెయ్యవు.

సూక్ష్మ ప్రపంచంలో ష్రోడింగర్ సమీకరణం న్యూటన్ సమీకరణాల స్థానాన్ని ఆక్రమించినది. కానీ సూక్ష్మ రేణువులు అతి జోరుగా (అనగా, కాంతి వేగానికి సమీపంలో) సంచరించే సందర్భాలలో ష్రోడింగర్ సమీకరణం పని చెయ్యదు. కనుక అది గుళిక వాదాన్ని (Quantum Theory), సాపేక్ష వాదాన్ని (Theory of Relativity) సమన్వయ పరచి గుళిక క్షేత్ర వాదం (Quantum Field Theory) నిర్మించడానికి ఉపయోగపడదు.

ఈ సందర్భంలో పాల్ డిరాక్ (Paul Dirac) రంగం లోకి దిగేరు. అది ఎలా జరిగిందో ఒక నఖ చిత్రంలా చెబుతాను. ఈ వ్యాసంలో గణిత సమీకరణాలు కనిపిస్తాయి కానీ అవి అర్థం కాకపోయినా పరవాలేదు; విషయం అర్థం అయేటట్లు చెప్పడానికి ప్రయత్నం చేస్తాను. కనుక భయపడి చదవడం ఆపేయకండి!

1. **పాల్ డిరాక్ ప్రతిపాదన**

పాల్ డిరాక్ 1928 లో తన “డిరాక్ సమీకరణం” ప్రతిపాదించేడు. అంటే ష్రోడింగర్ తన “ష్రోడింగర్ సమీకరణం” ప్రతిపాదించిన రెండేళ్ల తరువాత!

డిరాక్ ఏమిటి చేసేడో అర్థం అవాలంటే ముందుగా ష్రోడింగర్ ఏమిటి చేసేడో అర్థం చేసుకోవాలి. ష్రోడింగర్ ఏమిటి చేసేడో అర్థం అవాలంటే చరిత్రలో 1905 వరకు వెనక్కి వెళ్ళి అయిన్^స్టయిన్ ఏమిటి చేసేడో అర్థం చేసుకోవాలి.

ఆల్బర్ట్ అయిన్^స్టయిన్ ఏమన్నాడంటే కాంతి వేగం (c) ఒక స్థిరాంకం అవడమే కాకుండా ఆ వేగాన్ని దాటి ఏదీ ప్రయాణించడానికి వీలు లేదన్నాడు.

అంతే కాదు. స్థలం (space), కాలం (time) వేర్వేరు అంశాలు కావు. స్థలాన్ని నిర్దేశించే పొడుగు, వెడల్పు, లోతు అనే మూడు నిరూపకాలు (coordinates) తో పాటు కాలాన్ని నిర్దేశించే “సెకండ్లు”

నాలుగవ నిరూపకమనిన్నీ, ఈ నాలుగు నిరూపకాలతో నిర్మించిన క్షేత్రాన్ని “స్థలకాలం” (spacetime) అనాలనిన్నీ తన ప్రత్యేక సాపేక్ష వాదంలో ఉద్ఘాటించేడు. ఇలా అవినాభావ సంబంధం ఉన్న క్షేత్రంలో స్థలాన్ని, కాలాన్ని సమ దృష్టితో చూడాలని ఆయన నొక్కి వక్కాణించారు.

కానీ 1926 లో ష్రోడింగర్ ప్రతిపాదించిన సమీకరణం స్థలాన్ని, కాలాన్ని సమ దృష్టితో చూడదు. కనుక ష్రోడింగర్ సమీకరణానికీ, సాధారణ సాపేక్ష వాదానికి మధ్య పొంతన కుదరదు. ఎందుకు కుదరదో ఈ దిగువ ష్రోడింగర్ సమీకరణం రాసి చూపిస్తాను. (ఇది పరిపూర్ణంగా అర్థం కాకపోయినా పరవాలేదు; బులబులాగ్గా అర్థం అయితే చాలు!)

ఉదాహరణకి x-అక్షం మీద ఒక సూక్ష్మ రేణువు స్థితిని వర్ణించడానికి ఈ దిగువ చూపిన ష్రోడింగర్ సమీకరణాన్ని వాడతారు:

The Schroedinger equation in one space dimension is:

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\Psi(x,t) = \left[-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(x,t)\right]\Psi(x,t).$$

ఈ సమీకరణంలో Ψ అనేదానిని తరంగ ప్రమేయం (wavefunction) అంటారు; సమీకరణాన్ని పరిష్కరించి సాధించవలసిన చలరాసి ఇది. ఈ సమీకరణాన్ని కొంచెం జాగ్రత్తగా పరకాయించి చూస్తే ఒక రకమైన సౌష్ఠవం (symmetry) లోపించినట్లు కనిపిస్తుంది. సమీకరణం కుడి పక్కని చదరపు కుండలీకరణంలో ఉన్న మొదటి పదంలో ఉన్న $\frac{\partial 2}{\partial x 2}$ ని “x-నిరూపకం దిశలో తరంగ ప్రమేయపు రెండవ వాలుదనం” (second derivative of the wavefunction in the direction of the x-coordinate) అనే అంశాన్ని సూచిస్తుంది. అదే సమీకరణం ఎడమ పక్కన ఉన్న $\frac{\partial}{\partial t}$ “t-నిరూపకం దిశలో తరంగ ప్రమేయపు మొదటి వాలుదనం” (first derivative of the wavefunction in the direction of the t-coordinate) అనే అంశాన్ని సూచిస్తుంది. అనగా శ్రోడింగర్ సమీకరణంలో స్థానాన్ని (అనగా x ని), కాలాన్ని (అనగా t ని) వేర్వేరు విధాలుగా పరిగణించినట్లు అయింది కదా. ఇది పైన ఉటంకించిన అయిన్^స్టయిన్ ప్రతిపాదనకి విరుద్ధం! అనగా, ష్రోడింగర్ సమీకరణం సాపేక్ష వాదానికి బద్ధం కాదు. అనగా, ష్రోడింగర్ సమీకరణం జోరుగా ప్రయాణించే (ఎలక్ట్రాను వంటి) రేణువులని వర్ణించడానికి పనికిరాదు!

చిన్న పిట్టకథ: గణితంలో చాలా ముఖ్యమైన ఒక భాగాన్ని కలన గణితం (calculus) అంటారు. ఈ కలన గణితంలో తరచు తారసపడే అంశం "వాలుదనం" (slope). ఒక అంశం ఒక బిందువు వద్ద ఎంత జోరుగా పెరుగుతున్నాదో లేక తరుగుతున్నాదో ఇది చెబుతుంది. దీనిని ఇంగ్లీషులో derivative అని కూడా అంటారు. కొండ దిగేటప్పుడు ఈ వాలుదనం అన్ని దిశలలోనూ ఒకేలా ఉండదు కదా. తక్కువ వాలుదనం ఉన్న దిశలో దిగడం సులభం. కనుక వాలుదనం గురించి మాట్లాడేటప్పుడు ఏ దిశలో వాలుదనమో కూడా చెప్పాలి. ఉదాహరణకి $\frac{\partial}{\partial t}$ అనేది "t-నిరూపకం దిశలో మొదటి వాలుదనం" అయితే $\frac{\partial 2}{\partial x2}$ అనేది "x-నిరూపకం దిశలో రెండవ వాలుదనం" అంటారు. పిట్టకథ అయిపోయింది.

ష్రోడింగర్ సమీకరణం జోరుగా ప్రయాణించే (ఎలక్ట్రానుల వంటి) రేణువులని వర్ణించడానికి పనికిరాదని చెప్పేను కదా! పోతే, జోరుగా ప్రయాణించే రేణువులని వర్ణించగలిగే సమీకరణం మరొకటి ఉంది. దాని పేరు క్లైన్-గోర్డన్ (Klein-Gordon) సమీకరణం. ఈ సమీకరణం ఆవిష్కరణ - ష్రోడింగర్ సమీకరణం ఆవిష్కరణ జరిగిన రోజలలోనే - 1926 లో జరిగింది. జోరుగా ప్రయాణించే ఎలక్ట్రానుల ప్రవర్తనని వర్ణించడానికిగాను దీని ఆవిష్కరణ జరిగింది కానీ ఉత్తరోత్తర్యా భ్రమణం (spin) ఉన్న రేణువులని వర్ణించడానికి ఇది పనికిరాదని రుజవయింది. ఎలక్ట్రానులు భ్రమణం ఉన్న రేణువులు కనుక క్లైన్-గోర్డన్ సమీకరణం ఎలక్ట్రానుల ప్రవర్తనని వర్ణించడానికి పనికిరాదన్న మాట కదా! (భ్రమణం అనేది సూక్ష్మ రేణువులకి ఉన్న లక్షణాలలో ఒకటి.)

ఈ క్లైన్-గోర్డన్ (Klein-Gordon) సమీకరణం రూపు రేఖలు ఎలా ఉంటాయో ఈ దిగువ చూపెడుతున్నాను. (ఇది పరిపూర్ణంగా అర్థం కాకపోయినా పరవాలేదు; బులబులగ్గా అర్థం అయితే చాలు!)

The K-G equation in three space dimensions is:

$$-\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}\psi + \nabla^2\psi = \frac{m^2c^2}{\hbar^2}\psi,$$

ఈ సమీకరణాన్ని కొంచెం జాగ్రత్తగా పరకాయించి చూస్తే మొదటి పదంలో ఉన్న $\frac{\partial 2}{\partial t2}$ t-నిరూపకం దిశలో "తరంగ ప్రమేయపు రెండవ వాలుదనం" (second derivative of the wavefunction with respect to time) ని సూచిస్తుంది. అదే సమీకరణం రెండవ పదంలో ఉన్న "తిరగబడ్డ త్రిభుజం" x,

y, z-నిరూపకాల దిశలలో “తరంగ ప్రమేయపు రెండవ వాలుదనం” (second derivatives of the wavefunction with respect to space coordinates) కనిపిస్తోంది కదా. కనుక స్థానానికి కాలానికి మధ్య మనకి కావలసిన సౌష్ఠవం ఇక్కడ ఉంది. (Here space and time are treated alike because both the space and time terms appear as second derivatives.) కావలసిన సౌష్ఠవం ఉన్నప్పటికీ ఇది భ్రమణం లేని (spin-less) రేణువులని వర్ణించడానికి ఉపయోగపడుతుంది కానీ ఎలక్ట్రానులని వర్ణించడానికి ఉపయోగపడదు! గణితపరంగా మనకి క్లైన్-గోర్డన్ సమీకరణాన్ని పోలిన సమీకరణం మరొకటి కావాలి కానీ అందులో రెండవ వాలుదనం బదులు - మొదటి వాలుదనం ఉండాలి. ఎలా?

“ఈ రెండవ వాలుదనం (second derivative) ఉన్న చోట మొదటి వాలుదనం (first derivative) కావాలనుకున్నప్పుడు ఏ గణిత ప్రక్రియ జరిగితే సరిపోతుంది?” అని డిరాక్ ప్రశ్నించుకున్నారు. సామాన్యుల అనుభవ పరిధిలో దీనిని పోలిన ప్రక్రియ వర్గమూలాన్ని సాధించడం. ఉదాహరణకి 2 ని రెండు సార్లు వేసి గుణిస్తే 4 వస్తుంది. ఇప్పుడు 4 నుండి 2 ని సాధించాలంటే, 4 కి వర్గమూలం (square root) తియ్యాలి. అప్పుడు మనకి +2 కానీ -2 కానీ సమాధానంగా వస్తాయి. అలాగే రెండవ వాలుదనం ఉన్న స్థానంలో మొదటి వాలుదనం రావాలనుకున్నప్పుడు వర్గమూలం వంటి ప్రక్రియ జరగాలి. అప్పుడు రెండు సమాధానాలు వస్తాయి: ఒకటి ధన రూపం, రెండవది ఋణ రూపం. ఈ రెండింటిలో ఏదో ఒకదానిని ఎన్నుకుంటే కొంత సమాచారాన్ని నష్టపోతాం.

“రెండింటిని ఉంచుకుంటే వచ్చిన నష్టం ఏమిటి?” అని డిరాక్ అనుకుని ఉంటారు. డిరాక్ ఊహ ఎలా నడిచిందో చూద్దాం.

ఉదాహరణకి క్లైన్-గోర్డన్ సమీకరణమూ, సాపేక్షవాదంలో శక్తిని వర్ణించడానికి వాడే ఈ దిగువ సమీకరణం వేర్వేరు రూపాలలో ఒక్కటే!

$$E^2 = (pc)^2 + \left(m_0 c^2\right)^2$$

ఇది రెండవ శ్రేణి (second order) బీజ సమీకరణం. దీనిని ప్రథమ శ్రేణి (first order) లోకి మార్చడం ఎలా? తేలిక! దీని వర్గమూలం విలువ కట్టడమే! ఇది ఇంత తేలిక అయినప్పుడు మన సమస్యకి పరిష్కారం దొరికినట్లే కదా! క్లైన్-గోర్డన్ (Klein-Gordon) సమీకరణం యొక్క వర్గమూలం లెక్కగడితే మనం గట్టెక్కినట్లే కదా!

ఇక్కడ వచ్చిన చిక్కు ఏమిటంటే క్లైన్-గోర్డన్ సమీకరణం లో ఉన్నవన్నీ నిజ రాశులే (real components). కానీ ష్రోడింగర్ సమీకరణంలో కనిపించే గ్రీకు అక్షరం Ψ (“ప్సయి”) ఒక సంక్లిష్ట రాసి (complex variable) ని సూచిస్తుంది. కనుక మనకి కావలసిన సమాధానం సంక్లిష్ట రాసి అవాలి. కనుక క్లైన్-గోర్డన్ సమీకరణం యొక్క వర్గమూలం లెక్క కట్టినప్పుడు మనకి సంక్లిష్ట రాసులు రావాలి. అవ్వా కావాలి, బువ్వా కావాలి అన్నట్లు పరిణమించిన ఈ సమస్యని పరిష్కరించడానికి డిరాక్ alpha 1, alpha 2, alpha 3, beta అనే నాలుగు పరామితులని 4x4 మాత్రుకలు (4x4 matrices) రూపంలో ఉపయోగించి ఈ దిగువ చూపిన సమీకరణాన్ని సాధించేరు.

$$\left(\beta mc^2 + c\left(\sum_{n=1}^{3} \alpha_n p_n\right)\right)\psi = i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}.$$

ఇక్కడ m అనేది మనం అధ్యయనం చేస్తూన్న రేణువు యొక్క గరిమ (mass) అయితే c అనేది కాంతి వేగం. కుడి పక్కన ఉన్న h-bar అనే అక్షరం కుదించిన ప్లేంక్ స్థిరాంకం (reduced Plank’s constant). వీటి విలువలు మనకి తెలుసు. కూడిక గుర్తులో ఉన్న n = 1, 2, 3 అన్నవి x, y, z దిశలని సూచిస్తాయి. ఈ సమీకరణంలో p_n విలువ

$$p_n = ih\frac{\partial}{\partial x}$$

ఈ సమీకరణంలో కనిపించే వాలుదనాలు రెండూ మొదటి శ్రేణి వాలుదనాలే (first order derivatives) కనుక మనకి కావలసిన సౌష్ఠవం వచ్చింది! ఇక చెయ్యవలసినదల్లా కొత్తగా ప్రవేశించిన నాలుగు పరామితుల విలువలని నిర్ధారించడమే!

ఇది డిరాక్ ఎలా సాధించేరో చెప్పడానికి మనకి ఉన్న గణిత ప్రావీణ్యత సరిపోదు కనుక చెప్పను. కానీ ఈ పరామితుల విలువలలోనే ఎలక్ట్రానులకి భ్రమణం అనే లక్షణం ఉందని తెలిసింది!!

ఉదాహరణకి alpha-1, alpha-2, alpha-3 విలువలని బట్టి పదార్థం (matter), ప్రతి పదార్థం (antimatter) అనేవి ఉండాలనిన్నీ, వాటికి ఊర్ధ్వ భ్రమణం (spin-up), అధో భ్రమణం (spin-down) అనే లక్షణాలు ఉంటాయనిన్నీ స్పష్టం అయింది. ఈ భ్రమణం అనేది గుళిక వాదాన్ని సాపేక్ష వాదంతో సంధాన పరచడం వల్ల జరిగిన పర్యవసానం అని డిరాక్ మొదట్లో గుర్తించలేదు కానీ డిరాక్

సాధించిన ఈ ఫలితం భౌతిక శాస్త్రంలో పెద్ద మలుపు అనేది నిర్వివాదాంశం!! అందుకనే ఈ వ్యాసానికి “గుళిక వాదం నుండి సాపేక్ష గుళిక వాదం వరకూ, అక్కడ నుండి గుళిక క్షేత్ర వాదం దాకా! (Quantum Theory to Relativistic Quantum Theory to Quantum Field Theory) అని మొదట్లో పేరు పెట్టెను.

ఇంకా తెలుసుకోవాలని ఉంటే ఈ దిగువ లంకెలని సందర్శించండి!

https://www.youtube.com/watch?v=cuUbZfe1NMs
https://en.wikipedia.org/wiki/Klein%E2%80%93Gordon_equation

16. లోహములు, అలోహములు

అనాది నుండీ మానవుడు తన చుట్టూ ఉన్న ప్రపంచాన్ని వర్గాలుగా విడగొట్టి చూడడం అలవాటు చేసుకున్నాడు. సగుణబ్రహ్మము త్రిగుణాత్మకం అన్నారు. చాతుర్వర్ణ్యం మయాసృష్టం అన్నాడు గీతాచార్యుడు. ద్వివర్గం రసాయనం అన్నాడు బెర్జీలియస్. ఈ ఆచారాలన్నీ సంప్రదాయికంగా వస్తూన్నవే అయినా ఇలాంటి వర్గీకరణలు అంత తేలికగా లొంగేవి కావు; మినహాయింపులు ఉంటూనే ఉంటాయి! ఉదాహరణకి, రసాయన మూలకాలు దరిదాపుగా 110 ఉన్నా వాటిని స్థూలంగా లోహములు, అలోహములు అని రెండు వర్గాలుగా విభజించి అధ్యయనం చెయ్యడం ఆనవాయితీగా వస్తూన్న ఆచారం. ఈ వర్గీకరణ ఎంతవరకు సఫలం అయిందో ఇక్కడ విచారిద్దాం.

1. లోహముల లక్షణాలు

మానవుడు సాంకేతికంగా అభివృద్ధి చెందే ప్రయాణంలో లోహములు (metals) కీలకమైన పాత్ర వహించేయనడంలో సందేహం లేదు. అందుచేత చాల మందికి లోహములంటే ఏమిటో, వాటి గుణగణాలు ఏమిటో అనుభవపూర్వకంగా తెలిసే ఉంటుంది. సర్వసాధారణంగా లోహాలకి ఉండే లక్షణాలు: (1) వాటికి ఒక రకమైన "మెరుపు" లేదా "తళుకు" (lustre) ఉంటుంది; లేకపోతే మెరుగు పెట్టి మెరుపు తెప్పించవచ్చు. (2) అవి ముట్టుకుంటే చేతికి చల్లగా తగులుతాయి. (3) అవి త్వరగా వేడెక్కుతాయి లేదా, వాటి ఉష్ణ వాహకత (heat conductivity) ఎక్కువ. (4) వాటి విద్యుత్ వాహకత (electrical conductivity) కూడా ఎక్కువే! (5) ఈ వస్తువులని సుత్తితో కొడితే ఖంగు మని మోగుతాయి. (6) ఒంచితే ఒంగుతాయి, సాగదీస్తే తీగలా సాగుతాయి. ఈ లక్షణాన్ని "తాంతవత" (ductility) అంటారు. (7) సుత్తితో బాదితే పలచబడి గట్టిబడతాయి. ఈ లక్షణాన్ని "అఘాత వర్ధనీయత" (malleability) అంటారు. (8) ఇవి సర్వసాధారణంగా బరువుగా ఉంటాయి. (9) ఇవి వేడి చేస్తే కరుగుతాయి. ఇలా ఈ జాబితాని పొడిగించుకుంటూ పోవచ్చు.

అన్ని లోహాలూ, అన్ని వేళలలోనూ ఈ లక్షణాలన్నిటిని ప్రదర్శించక పోవచ్చు. అలాగే ఈ లక్షణాలు ఉన్నంత మాత్రాన అవి లోహాలవాలని నియమం ఏమీ లేదు. ఉదాహరణకి గాజుని గోటితో మీటితే టింగు మని శబ్దం చేస్తుంది కదా; గాజు {glass) లోహం కాదని మనందరికీ చెప్పకనే తెలుసు! సీసం (lead), తగరం (tin) లోహాలయినప్పటికీ అవి టింగు మనవు, ఖంగు మనవు. పోత ఇనుము (cast iron) పెళుసుగా ఉంటుంది. అల్లూమినం (aluminum), మగ్నము (magnesium) తక్కువ సాంద్రత కలవి కనుక తేలికగా ఉంటాయి. గ్రేఫైట్ (graphie) కి - లోహం కాకపోయినా - వాహక శక్తి ఎక్కువ అవడమే కాకుండా మెరుగు పెట్టి తళుకు తెప్పించవచ్చు. ఇలా మినహాయింపులు చెప్పుకుంటూ

పోతే ఒక వస్తువు లోహమా, కాదా అని నిశ్చయించడానికి ఏయే లక్షణాలని పరిశీలించాలో నిర్దిష్టంగా చెప్పడం కష్టం అయిపోతుంది!! ఇదే విధంగా మన అనుభవ పరిధిలో ఏది లోహం, ఏది సంయోగధాతువు (alloy) అని నిర్ధారించి చెప్పడం కూడ కష్టమే!

2. మూలకాలలో రకాలు

ఉదజని (hydrogen) నుండి యురేనియం దాకా ఉన్న 92 రసాయన మూలకాలలో 68 ని లోహములనిన్నీ, 19 ని అలోహములు (non-metals) అనిన్నీ, పెద్దలు ఒప్పుకుంటున్నారు; మిగిలిన అయిదింటిని ఉపలోహములు (metalloids) అనేవారు కానీ వీటిని ఇటీవలి కాలంలో అర్ధవాహకాలు (semiconductors) అని పిలవడం మొదలు పెట్టేరు. ఈ 68 లో కొన్ని భూమి మీద విస్తారంగా దొరికేవే, కాని కొన్ని చాల అరుదు. పట్టిక 1 ని పరిశీలించి చూస్తే మనకి బాగా పరిచయం అయిన లోహాలు నిజానికి అంత విస్తారంగా దొరికే లోహాలు కానే కాదని తెలుస్తుంది.

పట్టిక 1. భూమి మీద ఏయే మూలకాల లభ్యత ఎంతెంత శాతం ఉందో చూపే పట్టిక

లోహ మూలకాలు (Metallic elements)	లభ్యత (Availability, %)	లోహ మూలకాలు (Non-metallic elements)	లభ్యత (Availability, %)
అల్లూమినం	7.45	ఆమ్లజని (Oxygen)	49.13
ఇనుము (Iron)	4.20	సైకతము (Silicon)	26.00
ఖటికం (Calsium)	3.25	ఉదజని (Hydrogen)	1.00
సోడియం	2.40	కర్బనం	0.35
పొటాసియం	2.35	హరితం	0.20
మగ్నం	2.35	భాస్వరం	0.12
టైటేనియం	0.61	గంధకం	0.10
బేరియం	0.05	ఫ్లోరీన్	0.08

స్ట్రోంటియం	0.04	నత్రజని	0.04
క్రోమియం	0.03		
జిర్కోనియం	0.025		
వెనేడియం	0.02		
నికెల్	0.02		
యశదం (Zinc)	0.02		
రాగి (Copper)	0. 01		

ఉదాహరణకి పై పట్టికలో చిట్టచివర ఉన్న – అనగా, భూమి పై అంత పుష్కలంగా దొరికే మూలకం కాకపోయినప్పటికీ - రాగి ఉనికి మానవుడికి 5,000 సంవత్సరాలబట్టీ తెలుసు. ఆమాటకొస్తే మానవుడికి చిరకాలం నుండీ తెలిసున్న వెండి, బంగారం, సీసం ఈ పట్టికలో లేనే లేవు! పై పట్టికలో, లభ్యతలో, రెండవ స్థానంలో ఉన్న ఇనుము వాడకం మిగిలిన లోహాలన్నిటి సమష్టి వాడకం కంటె ఎక్కువ. ఇనుము తరువాత ఎక్కువ వాడకంలో ఉన్నవాటిల్లో పేర్కొనదగ్గవి మగ్నము (magnesium), రాగి (copper), అల్లూమినం, యశదము (zinc).

“రాచ లోహములు” అనదగ్గ బంగారం, ప్లేటినం, రాచరికం కాసింత లోపించిన వెండి, రాగి – ఈ నాలుగూ - భూమి పైపొరలలో లోహం రూపంలో అప్పుడప్పుడు దొరుకుతాయి. మిగిలిన లోహాలు అన్నీ రసాయన సంయోగాలుగా లభ్యం అవుతాయి; ఇవి ఆమ్లజనితో సంయోగం పొందిన ఆమ్లజనిదములు (oxides) కావచ్చు, గంధకంతో సంయోగం చెందిన గంధకిదములు (sulfides), గంధకితములు (sulpfates) కావచ్చు, కర్బనంతో సంయోగం చెందిన కర్బనితములు (carbonates) కావచ్చు, లేదా సంక్లిష్ట సంయోజితాలు (complex compounds) కావచ్చు. గనులలో దొరికే సంయోజితాలని “ఖనిజములు” (ores) అంటారు. ఈ ఖనిజాలని క్షయీకరించి (reduce చేసి, అనగా ఆమ్లజనిని బయటకి లాగి) వీటిలో దాగున్న లోహాలని వెలికి తీస్తారు. ఇలా వెలికి తీసిన ఉత్తర క్షణం నుండీ ఆ లోహాలు తమ పూర్వ స్థితిలోకి జారుకుందుకి అలా ప్రయత్నిస్తూనే ఉంటాయి. ఇనుము తుప్పు పట్టడం (rusting), రాగి కిలుం పట్టడం (verdigris) ఈ ప్రక్రియకి ఒక రకం ఉదాహరణలు. ఇక్కడ జరిగే ప్రక్రియని "ఆక్సీకరణం" (oxidation) అంటారు. వెండి ఆక్సీకరణం

చెందదు కానీ అది నల్లబడడానికి (tarnishing) కారణం కల్మషపు గాలిలో ఉన్న ఉదజని గంధకిదము (hydrogen sulfide) తో కలిసి రజత గంధకిదము (silver sulfide) గా మారడం.

3. పూర్వకాలంలో

రాతియుగంలో సహజసిద్ధంగా లభించే లోహపు కణికలు మానవుడి కంటికి కనబడినప్పుడు రాళ్ళకీ, ఆ కణికలకి మధ్య తేడా స్ఫుటంగా ఉండడం గమనించి వాటిని పదిలంగా భద్రపరచి ఉంటాడు. ఆకుపచ్చగా ఉండే తామ్ర కర్బనితం (copper carbonate) రాళ్ళనీ, నల్లగా ఉండే అంజన గంధకిదము (antimony sulphide) లేదా సుర్మా రాళ్ళనీ గుండ చేసి ఈజిప్టులోని పురాతన (సా. శ. పూ. 3500) రాజవంశీయులు సౌందర్య సామగ్రులుగా ఉపయోగించినట్లు దాఖలాలు ఉన్నాయి. వీటిని బొగ్గుల కొలిమిలో వేడి చేస్తే తేలికగా క్షయీకరణ పొంది, వాటిలోని లోహం బయటకి వచ్చేస్తుంది కనుక మూడింతులు ప్రాచీనులకి రాగి, అంజనం లేదా సుర్మా (antimony) పరిచయమైన లోహాలే అయి ఉండవచ్చు. రోమను సామ్రాజ్యం వెల్లివిరిసేనాటికి (సా. శ. పూ. 200) ఇనుము, రాగి, సీసం, తగరం, పాదరసం, వెండి, బంగారం విస్తారంగా వాడుకలోకి వచ్చేసేయి కనుకనే “లోహం” అనగానే ఈ ఏడు మూలకాలు ఠకీమని స్ఫురణకి వస్తాయి. ఇవన్నీ ఎక్కువ సాంద్రత కలిగినవి, మెరుగు పెడితే మెరిసేవి, తాకగానే చేతికి చల్లగా తగిలేవీను. ఒక్క పాదరసాన్ని మినహాయిస్తే ఇవన్నీ సుతిమెత్తనివి (malleable), సుత్తితో బాదితే గట్టిబడేవి, వేడి చేస్తే మెత్తబడేవి. వీటిని వేడి చేసి కరిగించవచ్చు, ఒకదానితో మరొకదానిని కలిపి, కరిగించి సంయోగధాతువులు (alloys) గా చెయ్యవచ్చు.

మన పూర్వులు సంయోగధాతువులతో విశేషంగా పని చేసేరు కాని లోహములకీ, సంయోగధాతువులకీ మధ్య ఉన్న తేడాలు వారికి పరిపూర్ణ అవగాహనలోకి వచ్చిన దాఖలాలు మాత్రం లేవు; ఏదో గుడ్డి గుర్రపు తాపులా వారికి కొన్ని సంయోగధాతువులు తారసపడి ఉండొచ్చు. ఇలాంటి సందర్భాలలో అప్పటివరకు ఎరికలో లేని మూలక లోహాలు (metal elements) వారు చూసినా అవి లోహాలని వారి గ్రహింపుకి వచ్చి ఉండకపోవచ్చు. ఒక గనిలో దొరికిన ఖనిజపు రాయిని ఒక విధంగా ”ప్రక్షాళిస్తే” వచ్చిన లోహం మరొక చోట దొరికిన ఖనిజం మీద అదే పద్ధతి ప్రయోగిస్తే పని చేసేది కాదు. ఉదాహరణకి రోమనులకి మూడు రకాల “సీసం” లు గురించి తెలుసు: సాధారణ సీసం (Plumbum nigrum), తగరం (Plumbum candidum అనగా, బ్రిటన్ నుండి వచ్చిన సీసం), బిస్మత్ (Plumbum cinereum). అలాగే వారు రాగిని aes cyprium (అనగా సైప్రస్ లో దొరికే కంచు) అనేవారు. పదిహేను వందల సంవత్సరాల తరువాత కూడ, జెర్మనీలోని రాగి కమ్మటాలలో (copper smelters) కోబాల్ట్ కీ నికెల్ కీ మధ్య తేడా తెలియక తికమకలు పడ్డారనడాని వాటి పేర్లే సాక్ష్యం (జెర్మన్ భాషలో నికెల్ అన్నా కోబాల్ట్ అన్నా భూతం అనీ డాకినీ అని అర్థం!).

4. 18 వ శతాబ్దంలో

పద్దెనిమిదవ శతాబ్దం వచ్చేసరికి మన అవగాహన బాగా పెరిగింది; ఖనిజాలు చాలమట్టుకి లోహాలతో కలిసిన మిశ్రమ పదార్థాలు (compounds) అన్న గ్రహింపు రాగానే వాటి నుండి లోహాలని వెలికి తియ్యడం ఎలాగో కష్టపడి తెలుసుకున్నారు. అయినప్పటికీ ఏది లోహం, ఏది కాదు అనే మీమాంస వచ్చినప్పుడల్లా పూర్వపు తొమ్మిది అంశాల కొలబద్దని వాడడంలో ఇబ్బంది పడేవారు. ఉదాహరణకి సా. శ. 1743 లో యశదము (zinc) "మెరుపులోనూ, విశిష్ట గురుత్వం (specific gravity) లోనూ, వేడి చేసినప్పుడు కరగడం లోనూ లోహంలా అనిపించినా, మంటలో వేసినప్పుడు భగ్గుమని మండే లక్షణాన్ని బట్టి లోహం కాదేమో" అని తటపటాయించేవారు. రంగులోనూ, బరువులోనూ, ఆకారంలోనూ లోహంలా అనిపించినా పెళుసుతనం (not malleable) వల్ల కోబాల్ట్ ని "అర్ధలోహం" (half metal) అనేవారు.

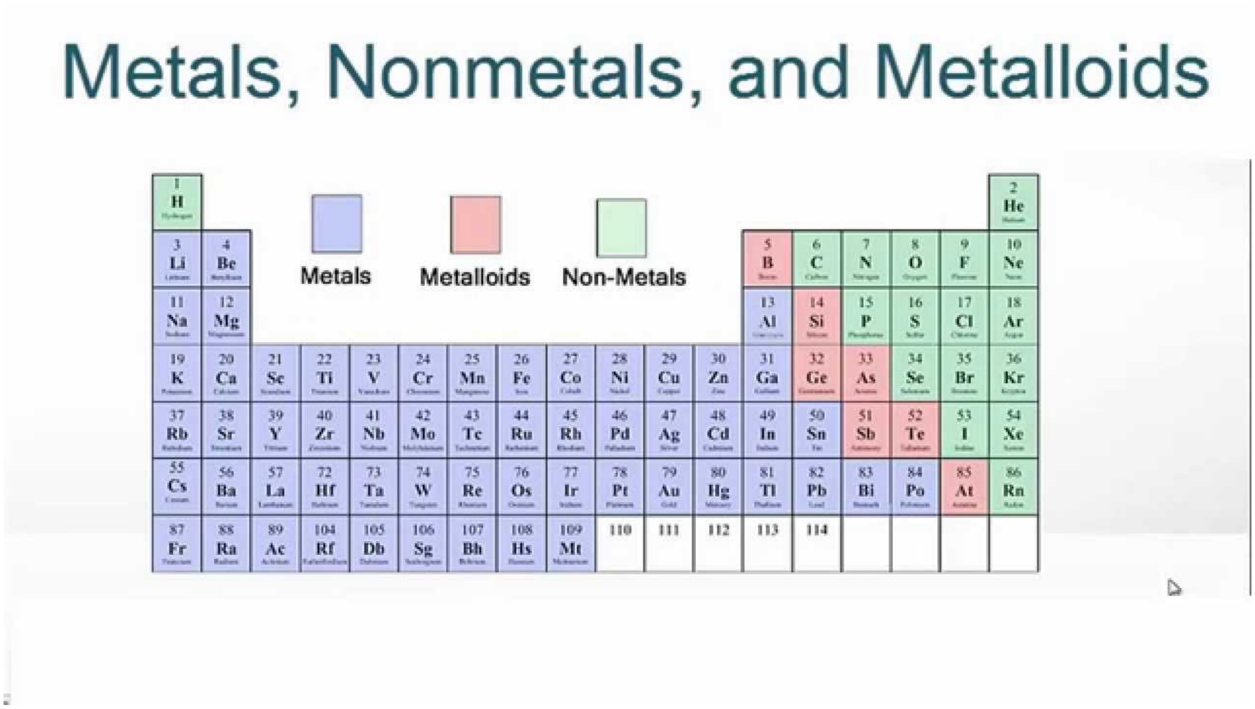
5. 19 వ శతాబ్దంలో

పందొమ్మిదవ శతాబ్దం ఆరంభ దశ వరకు లోహాలని ఖనిజాలనుండి వేరు చెయ్యడానికి బొగ్గుతో కలిపి కొలిమిలో పెట్టి వేడి చేసి (smelting) క్షయీకరించడం (reduction) ఆచరించదగ్గ పద్ధతిగా ఉండేది. కానీ డేవీ (Devy), ఫేరడే (Faraday) లు చేసిన ప్రయోగాల ఫలితంగా క్షయీకరణకి బదులు విద్యుత్తుని వాడడం తెలియగానే సోడియం (sodium) ని, పొటాసియం (potassium) నీ వాటి ఖనిజాల నుండి వేరు చెయ్యడం తెలిసింది. మిగిలిన లోహాలతో పోల్చితే ఈ రెండు లోహాలు ప్రత్యేకమైనవి. ఈ రెండూ జున్నులా మెత్తగా ఉండి కత్తితో కొయ్యడానికి వీలుగా ఉండడమే కాకుండా, ఇవి అత్యంత చురుకుదనం గలవి, నీటి కంటె తేలికైనవి అయిన లోహాలు! ఈ చురుకుదనం అనే లక్షణాన్ని ఉపయోగించుకుని - అనగా "వాడుకుని" - క్షయీకరణకి లొంగని ఖనిజాల నుండి ఖటికం (calcium), మగ్నం (magnesium), అల్లూమినం లని విడదీయడం జరిగింది. తరువాత ఎక్కువ వేడి పుట్టించే కొలిమిలని నిర్మించడం అర్థం అయిన పిమ్మట ఇంకా మొండి ఘటాలైన వెనేడియం, నియోబియం, టేంటలం, వగైరా లోహాలని వాటి వాటి ఖనిజాల నుండి, వ్యయప్రయాసలతో, ఎట్టకేలకు వేరు చేసేరు.

6. రసాయన దృక్పథంలో

పందొమ్మిదవ శతాబ్దం వరకు “మూలకం” (element) అనేదానిని కేవలం రసాయన దృక్పథం తోటే చూసేవారు. కనుక మూలకాల వర్గీకరణ సమయంలో ఏది లోహం? ఏది కాదు? అన్న ప్రశ్నలు రసాయన దృక్పథంతోనే ముందుకు వచ్చేవి. ఉదాహరణకి రసాయనుల దృష్టిలో లోహానికి ఉండవలసిన లక్షణాలు మూడు: (1) లోహము ఆమ్లజనితో సంయోగము చెంది భస్మం అయినప్పుడు ఆ “భస్మం” (oxide) ని ఆమ్లములలో కరిగిస్తే “లవణాలు" (salts) పుడతాయి. (అలోహాల భస్మాలే ఆమ్లాలు!) (2) లోహాల వల్ల పుట్టిన లవణాలు ద్రావణంలో ఉన్నప్పుడు విద్యుత్-ధన ఆవేశం (electro-positive charge) కలిగిన అయానులు పుడతాయి కనుక అవి విద్యుత్ ఘటం (electrolytic cell) లో ఋణ ధ్రువం దగ్గరకి చేరుతాయి. (అలోహాలు విద్యుత్-ఋణ ఆవేశం చూపుతాయి!) (3) లోహాలతో తయారయిన హరిదములు (chlorides) నీటిలో స్థిరత్వం కలిగి ఉంటాయి. (అలోహాలతో తయారయిన హరిదములు నీరు తగలగానే శిథిలం (decompose) అయిపోతాయి – అప్పుడప్పుడు తీవ్రము (violent) గా.

ఇలా రసాయనుల కోణంలో చూస్తే లోహాలు అనే కిరీటం ధరించడానికి అర్హత ఉన్న వాటిల్లో ప్రథమ స్థానం క్షార లోహాలైన సోడియం కి, పొటాసియం కీ ఇవ్వాలి! ఆధునికుల దృష్టిలో ఈ మాటంటే నగుబాటు! నిజమే, ఈ రెండూ తేలికగా కరుగుతాయి (సోడియం 97 C దగ్గరా, పొటాసియం 63 C దగ్గరా "కరుగు" అనగా melt అవుతాయి) కాని ఈ రెండు ఇతర లోహాలతో ఎక్కువ సంయోగం చెందవు. ఈ రెండూ కత్తితో కొయ్యగలిగే అంత మెత్తగా ఉంటాయి, ఒంగుతాయి. క్షార లోహాలయిన లిథియం, సోడియం, పొటాసియం ల సాంద్రత చాల తక్కువ; ఇవి నీటి మీద తేలుతాయి! లిథియం బెండు కంటె తేలిక! (విశిష్ట గురుత్వం = 0.59). ఇంత మెత్తగా ఉన్న వీటిని లోహాలు అనడానికి మనస్సు ఒప్పుకోదు.



బొమ్మ 1. ఆవర్తన పట్టిక (గూగుల్ సౌజన్యంతో).

7. ఆవర్తన పట్టిక చెప్పిన తీరు

ఆవర్తన పట్టిక (The Periodic Table) లో లోహాలని, అలోహాలని విడదీస్తూ బొద్దుగా, మెట్ల రూపంలో, ఒక గీత గీస్తూ ఉంటారు. (బొమ్మ 1 లో లోహాలని నీలంగానూ, అలోహాలని ఆకుపచ్చగానూ చూపించడం జరిగింది.) ఈ "గీతకి" దిగువన, ఎడం పక్కన ఉన్నవి లోహాలు; ఎగువన, కుడి పక్క ఉన్నవి అలోహాలు అని రివాజుగా తీర్మానిస్తూ ఉంటారు. ఈ ఆచారానికి విరుద్ధంగా కొన్ని ఉదాహరణలని చూపవచ్చు. మచ్చుకి భౌతిక లక్షణాలని బట్టి నీలపు గది 4 లో ఉన్న బెరిలియం (Be), నీలపు గది 13 లో ఉన్న అల్లూమినం (Al) నిస్సందేహంగా లోహాలే కాని వాటి భస్మాలు ఒకొక్కప్పుడు ఆమ్ల లక్షణాలని, మరొకప్పుడు క్షార లక్షణాలని చూపుడమే కాకుండా, వాటి హారిదములు నీరు తగలగానే కోపగించుకుని "ఖస్సు" మంటాయి. మరొక ఉదాహరణగా 7 వ గదిలో ఉన్న నత్రజని (nitrogen, N), దాని దిగువన 15 వ గదిలో ఉన్న భాస్వరము (phosphorous, P) సంగతి చూద్దాం. ఈ రెండూ ఒకే నిలువు వరసలో (కుటుంబంలో) ఒకదాని కింద ఒకటి ఉండి రెండూ అలోహాలు లాగనే ప్రవర్తిస్తాయి. గులాబీ రంగు 33 వ గదిలో ఉన్న ఆర్సెనిక్ (As) లోహంలా అనిపించినా అలోహంలా ప్రవర్తిస్తుంది; దానికి రెండు వరసల దిగువన 83 వ నీలం గదిలో ఉన్న బిస్మత్ (Bi) మూడొంతుల ముప్పాతిక లోహం లాగనే ఉన్నా పెళుసుగా ఉంటుంది. పైపెచ్చు దాని హారిదం

(chloride) నీటి పొడలో నిశ్చలంగా బతకలేదు. సరిహద్దులో ఉన్న అలోహాలన్నీ – అనగా, 5 వ గదిలో ఉన్న బోరాన్ (B), 14 వ గదిలో ఉన్న సిలికాన్ (Si), 32 వ గదిలో ఉన్న జెర్మేనియం (Ge), 33 వ గదిలో ఉన్న ఆర్సెనిక్ (As), 52 వ గదిలో ఉన్న టెల్లూరియుం (Te), చిట్టచివరికి 6 వ గదిలో గ్రేఫైట్ రూపంలో ఉన్న కర్బనం (C) – చూడడానికి లోహాలలా అనిపిస్తాయి.

రసాయనులు ఆవర్తన పట్టికతో ఇలా కుస్తీలు పడుతూ ఉంటే తరవాయి కార్యక్రమాన్ని నడిపే బాధ్యత భౌతిక శాస్త్రవేత్తల భుజాల మీద పడిందనవచ్చు. పందొమ్మిదవ శతాబ్దపు రసాయన శాస్త్రవేత్తలకి అణువు (atom) అనేది మూలకము యొక్క అవిచ్ఛిన్నమైన సూక్ష్మ రూపం. వారి దృష్టిలో ఏ మూలకపు అణువుకైనా ఒక నిర్దిష్టమైన గరిమ (mass) ఉంటుంది, ఒక నిర్దిష్టమైన బాహుబలం (valency) ఉంటుంది. (బాహుబలం అంటే ఒక మూలకం మరొక మూలకంతో రసాయన సంయోగము చెందగలిగే శక్తి.)

8. 20 వ శతాబ్దంలో

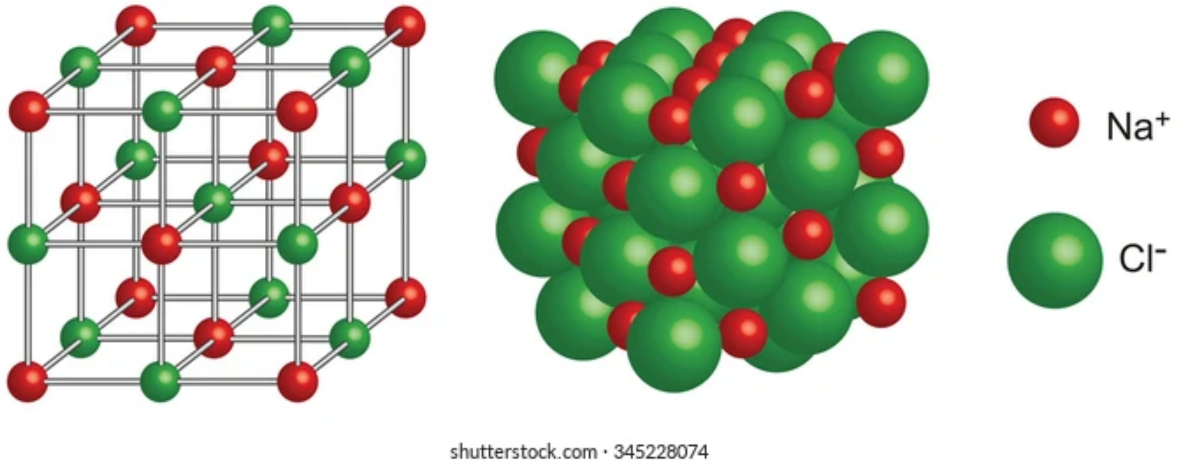
ఇరవైయవ శతాబ్దం వచ్చేసరికి గుళిక వాదం (quantum theory) తలెత్తడంతో అణువుల యెడల మన అవగాహన బాగా పెరిగింది. అణువు (atom) అవిచ్ఛిన్నం కాదనిన్నీ, దాని గర్భంలో నూట్రానులు, ప్రోటానులు అనే పరమాణువులు (sub-atomic particles) ఉంటాయనిన్నీ, ఈ గర్భం చుట్టూ ఋణావేశం ఉన్న ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయనిన్నీ తెలిసింది. ఆవర్తన పట్టికలో కుడి చివర నిలువు వరస (కుటుంబం) లో కనిపించే అచేతన (inert) వాయువులైన రవిజని (helium), నియాన్, ... వగైరాల కర్పరాలు (shells) అన్నీ పూర్తిగా ఎలక్ట్రానులతో నిండిపోయి ఉంటాయి కనుక వాటికి స్థిరత్వం (stability) ఎక్కువ (అనగా, చైతన్యం తక్కువ). ఈ అంశం దృష్ట్యా ఒక మూలకం యొక్క రసాయన లక్షణాలు కేంద్రకం (nucleus) చుట్టూ ఉండే ఎలక్ట్రానుల స్థిరత్వం మీద ఆధారపడి ఉంటాయని తీర్మానించవచ్చు; స్థిరత్వం తక్కువ ఉంటే చురుకుదనం ఎక్కువగా ఉంటుంది. క్షార లోహాలు (ఒకటవ కుటుంబంలో ఉన్న లిథియం, సోడియం, పొటాసియం, వగైరాలు) తమ బాహ్య కర్పరాలలో ఉన్న ఏకైక ఎలక్ట్రానుని వదలుకోడానికి సిద్ధపడతాయి కనుక అవి చాలా చురుకైన మూలకాలు అయేయి. అదే విధంగా అచేతన వాయు కుటుంబానికి ఎడం పక్కన 7 వ కుటుంబంలో ఉన్న ఫ్లోరీను, క్లోరీను, వగైరాల బాహ్య కోష్టికలలో స్థిరత్వానికి కావలసిన సంఖ్య కంటె ఒక ఎలక్ట్రాను తక్కువ కావడంతో ఆ ఒక్క ఎలక్ట్రానుని సంపాదించి స్థిరత్వం పొందడానికి సదా ఆరాటపడుతూ ఉంటాయి కనుక అవి కూడా చలాకీ మూలకాలే. కనుక ఒక క్లోరీన్ (Cl) అణువు సునాయాసంగా ఒక సోడియం (Na) అణువు ఇచ్చే ఒక ఎలక్ట్రానుని స్వీకరించి స్థిరత్వం ఉన్న NaCl అనే సంయోగ పదార్థాన్ని ఇస్తుంది. ఇలా ఎలక్ట్రాను బదిలీ అవడం వల్ల ఇంతవరకు తటస్థం (neutral) గా ఉన్న

అణువులు రెండూ ఆవేశం పొందిన Cl- అయాను గాను, Na+ అయాను గాను మారతాయి. ఇలా పరస్పరం వ్యతిరేక ఆవేశాలు ఉండడం వల్ల ఈ రెండు అయానులు ఒకదానిని మరొకటి బలంగా ఆకర్షించుకుంటాయి. అందుకనే NaCl కి స్థిరత్వం ఎక్కువ. ఈ రకం బంధాన్ని "అయానిక" బంధం అంటారు.

ఇలా రసాయనులు చేసిన కృషి వల్ల మనకి తెలిసినది ఏమిటంటే ఆవర్తన పట్టికలో ఎడం పక్కగా ఉన్న నిలువు వరుసలలోనూ (కుటుంబాలలోనూ), దిగువగా ఉన్న అడ్డు వరుసలలోనూ (ఆవర్తులలోనూ) ఉన్న మూలకాలు లోహాలు అయి ఉంటాయి.

9. భౌతిక శాస్త్రపు కోణంలో

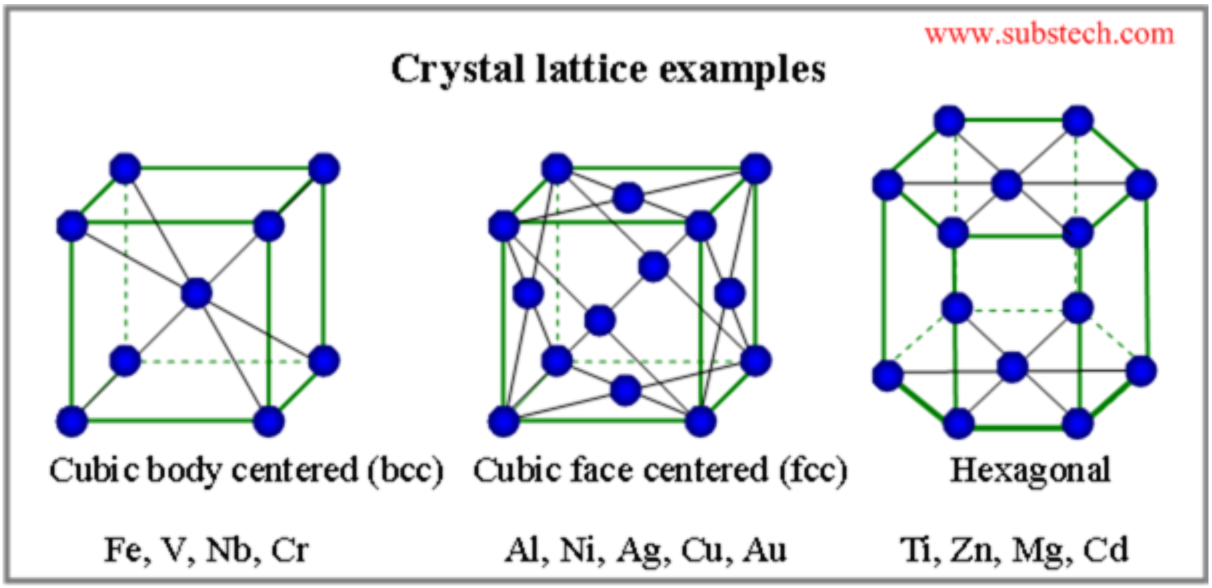
ఇప్పుడు భౌతిక శాస్త్రపు కోణంలో చూద్దాం. ఘన రూపంలో ఉన్న సోడియం క్లోరైడ్ (ఉప్పు) ని నిశితంగా పరిశీలించి చూస్తే అందులో ఉన్న ధన సోడియం అయానులు (Na+), ఋణ క్లోరీన్ అయానులు (Cl-) ఏకాంతర (alternate) స్థానాలలో బారులు తీర్చిన బంతుల మాదిరి మూడు దిశలలోనూ వ్యాపించి ఉంటాయి (బొమ్మ 2 చూడండి). ఈ రకపు అమరికకి స్థిరత్వం ఎక్కువ, దృఢత్వం (అనగా, వంగకుండా ఉండే, బీటలు పడకుండా ఉండే కఠినత్వం లేదా rigidity) ఎక్కువ. ఎందుకంటే, వంగాలన్నా, బీటలు పడి విరగాలన్నా పరస్పరం వ్యతిరేకంగా ఉన్న ధన, ఋణ విద్యుత్ అయానుల మధ్య ఉండే దృఢమైన “అయానిక్” బంధం తెగ్గొట్టాలి.



బొమ్మ 2. సోడియం క్లోరైడ్ (ఉప్పు) స్పటికంలో ఉండే సోడియం అయానులు (ఎర్ర బంతులు), క్లోరీన్ అయానులు (ఆకుపచ్చ బంతులు) ఘనచతురస్రం (cubic) ఆకారంలో ఎలా అమరి ఉంటాయో చూపే పటం. (గూగుల్ సౌజన్యంతో)

మరొక ఉదాహరణగా వజ్రంలో కర్బనం (carbon) అణువుల అమరికని పరిశీలించి చూద్దాం. కర్బనం అణువు యొక్క బాహ్య కర్పరం (outer shell) లో నాలుగు ఎలక్ట్రానులే ఉంటాయి కాని ఈ కర్పరంలో ఎనిమిది ఎలక్ట్రానులు పట్టడానికి సరిపడా చోటు ఉంది. కనుక ప్రతి కర్బనం అణువు తన పొరుగున ఉన్న కర్బనం అణువుతో నాలుగు ఎలక్ట్రానులని ఉమ్మడిగా పంచుకోగలదు. ఇప్పుడు ఒకొక్క కర్బనం అణువు పొరుగున నాలుగేసి ఇతర కర్బనం అణువులు ఉండేటట్లు అమర్చితే, ప్రతి కర్బనం అణువుకి తనవి నాలుగు, తన పొరుగున ఉన్న నాలుగు కర్బనం అణువుల నుండి ఒకొక్కటి చొప్పున మొత్తం నాలుగు తీసుకుని తన కర్పరాన్ని ఎనిమిది ఎలక్ట్రానులతో నింపుకుని స్థిరత్వం, దృఢత్వం పొందగలదు. ఈ రకం అమరిక కావాలంటే కర్బనం అణువులని మూడు దిశలలో వ్యాపించి ఉన్న చతుష్ఫలకం (tetrahedron) ఆకారంలో అమర్చాలి. వజ్రంలో ఉన్న కర్బనం ఈ అమరికలోనే ఉంటుంది కనుక అది అంత దృఢం (hard) గా ఉంటుంది. (పెళుసుగా కూడా ఉంటుంది కాని అది వేరే విషయం!) ఈ రకం బంధాన్ని నిరూపక బంధం (co-ordinate bond) అంటారు.

పైన ఉదహరించిన ఉప్పు, వజ్రం లోహాలు కావు. ఇప్పుడు లోహపు సోడియం (metallic sodium) లో అణువుల అమరిక ఎలా ఉంటుందో చూద్దాం. సోడియం అణువులు తమ బాహ్య కర్పరంలో ఒంటరిగా ఉన్న ఎలక్ట్రానుని వదలుకోగా మిగిలిన అయానులు, ఒకదానికి మరొకటి సమాన దూరంలో ఉండేటట్లు, మూడు దిశలలోనూ బారులు తీర్చిన ఇటికలులా అమరిపోతాయి. ఒంటరి ఎలక్ట్రానులన్నీ జారుడుగా ఉన్న ఉమ్మడి బెండడిలా సోడియం అణువుల మధ్య విశృంఖలంగా తిరుగాడుతూ విద్యుత్ పరంగా తటస్థతని ప్రదర్శిస్తాయి. ఈ రకం అమరికని body-centered cubic అంటారు (బొమ్మ 3 లో ఎడం పక్క బొమ్మ చూడండి). ఈ అమరికలో ఒక ఘనచతురస్రం లేదా ఘనం (cube) కి ఉన్న ఎనిమిది మూలలోనూ ఒకొక్క అణువు, ఘనం మధ్య ఒక అణువు ఉంటాయి. రాగిలో ఉండే అణువులని ఇంతకంటే కుదిమట్టం (compact) గా అమర్చవచ్చు. ఈ రకం అమరికని face-cented cubic అంటారు (బొమ్మ 3 లో మధ్యనున్న బొమ్మ చూడండి). ఈ అమరికలో ఒక ఘనం కి ఉన్న ఎనిమిది మూలలోనూ ఒక అణువు, ఆరు ముఖాల మధ్య ఒకొక్క అణువు ఉంటాయి. యశదం (zinc) లోని అణువులు hexagonal close pack అనే అమరికలో ఉంటాయి (బొమ్మ 3 లో కుడి చివర బొమ్మ చూడండి).



బొమ్మ 3. దరిదాపుగా లోహములన్నిటిలోనూ అణువులు (లేదా అయానులు) పైన చూపిన మూడు విన్యాసాలలో ఏదో ఒక విన్యాసాన్ని ప్రదర్శిస్తాయి. Body-centered cubic అంటే ఘనచతురస్రం పొట్టలో ఒక శాల్తీ, ప్రతీ మూల లోను ఒక శాల్తీ ఉన్న విన్యాసం. Face-centered cubic అంటే ఘనచతురస్రం యొక్క ప్రతి ముఖం మీద ఒక శాల్తీ, ప్రతీ మూల లోను ఒక శాల్తీ ఉన్న విన్యాసం. ఏయే లోహాలు ఏయే విన్యాసాలలో ఉంటాయో పట్టిక 2 లో చూడవచ్చు (గూగుల్ సౌజన్యంతో)

పైన పేర్కొన్న మూడు లోహపు స్పటికాకారాలు (metallic crytal structures) – అనగా body-centered, face-centered, hexagonal close packed – చాల ప్రత్యేకమైనవి. వీటిని సోడియం క్లోరైడ్, కర్బనాల స్పటికాకారాలతో పోల్చి చూద్దాం. మొట్టమొదటగా వీటిలోని బాలపు ఎలక్ట్రానులు (valence electrons) తమ తమ “మాతృ” అణువుతో నిమిత్తం లేకుండా, విశృంఖలంగా, ఒక “ఉమ్మడి ఎలక్ట్రాన్ సరస్సు” (electron lake) లో తిరుగుతూ ఉంటాయి. వివిక్తం (isolated) గా ఉన్న స్పటికంలో ఈ తిరుగుడు యాదృచ్ఛికంగా ఉంటుంది – అనగా, ఈ తిరుగుడుకి ఒక నిర్దిష్టమైన దిశ అంటూ ఉండదు. కాని ఈ స్పటికాన్ని ఒక విద్యుత్ క్షేత్రం (electric field) లో పెడితే, యాదృచ్ఛికంగా ఉన్న కదలిక ఒక ప్రవాహంలా మారుతుంది. అందుకనే “లోహాలు విద్యుత్ వాహకత్వాన్ని చూపుతాయి” అంటాము. ఈ విద్యుత్ వాహకత్వం కారణంగానే లోహాలు ఉష్ణవాహకత్వాన్ని కూడా సంతరించుకుంటాయి. (ఎందుకంటే, ఎలక్ట్రానులు “ఉష్ణ కంపనాలని” కూడా సమర్ధతతో మోసుకునిపోగలవు!) ఈ విద్యుత్ వాహకత్వం వల్లనే మెరుగు పెట్టిన లోహాలు కాంతిని అద్దంలా పరావర్తిస్తాయి. (ఎందుకంటే, పెద్ద లోహపు రేకు పొడుగాటి రేడియో తరంగాలని సమర్ధతతో పరావర్తించినట్లే, బుల్లి రేకు పొట్టిగా ఉండే కాంతి తరంగాలని సమర్ధతతో పరావర్తనం

చేస్తుంది!) అందుకనే మెరుగు పెట్టిన వెండి కాంతిని పరావర్తించడమే కాకుండా ఉత్తమోత్తమమైన ఉష్ణవాహకత్వాన్ని కూడా ప్రదర్శించడంలో ఆశ్చర్యపడవలసిన అవసరం లేదు.

ఇదే ధోరణిలో ఆలోచించి లోహాలు ప్రదర్శించే మరొక లక్షణాన్ని కూడా సమర్ధించవచ్చు. గుండ్రంగా ఉన్న గోళీలని రకరకాల విన్యాసాలలో అమర్చవలసి వచ్చినప్పుడు కొన్ని విన్యాసాలలో ఎక్కువ దట్టంగా గోళీలని కుక్కవచ్చు. అలానే ఒక స్ఫటికంలో అణువులని అనేక విన్యాసాలలో అమర్చవచ్చు కానీ కొన్ని ప్రత్యేకమైన విన్యాసాలలో ఎక్కువ అణువులని దట్టించి కుక్కవచ్చు. ఈ కోణంలో చూసినప్పుడు సర్వసాధారణంగా లోహపు అణువులు ఎక్కువ దట్టంగా ఉన్న విన్యాసాలలో అమురుతాయి. అందుకనే లోహాల సాంద్రత అలోహాల సాంద్రత కంటె ఎక్కువ. (లోహాల అధిక సాంద్రతకి సిసలైన అసలు కారణం కర్బనం, గంధకం వంటి అలోహాలతో పోల్చి చూస్తే రాగి, సీసం వంటి లోహాల అణు భారాలు ఎక్కువగా ఉండడమే!) ఈ లక్షణాలు ఉన్న స్ఫటికాల నిర్మాణ శిల్పం మరొక విధంగా కూడా లోహాల గుణగణాలని ప్రభావితం చేస్తుంది. ఇక్కడ జరిగే ప్రక్రియ సంక్లిష్టమైనది కనుక కాసింత తేలికగా చెప్పడానికి ప్రయత్నిస్తాను. స్ఫటికాల మీద ఒత్తిడి పెట్టినప్పుడు లోహాలలోని “పొరలు” ఒకదాని మీద మరొకటి జారితే ఆ లోహాన్ని రేకులుగా సాగగొట్టవచ్చు, తీగలుగా లాగ వచ్చు. ఈ పనిని face-centered cubic structure ఉన్న లోహాలతో చెయ్యడం తేలిక. ఈ లక్షణాలు (అనగా, malleability, ductility) పుష్కలంగా ఉన్న రాగి, వెండి, బంగారం face-centered cubic structure నే ప్రదర్శించడం గమనార్హం. ఇనుము body-centered cubic structure లో ఉంటుంది కనుక ఈ జారుడు లక్షణం కాసింత తక్కువ. యశదం, మగ్నం hexagonal close-packed విన్యాసంలో ఉన్నాయి కనుక వాటికి ఈ జారుడు లక్షణం ఒకే నిరూపక దిశ (coordinate direction) లో ఉంటుంది. ఏయే లోహాలు ఏయే విన్యాసాలలో అమరి ఉంటాయో పట్టిక 2 లో పొందుపరచేను.

పట్టిక 2. లోహాలలో కనిపించే మూడు ముఖ్యమైన స్ఫటిక విన్యాసాలు

Face-Centered Cubic విన్యాసం లో ఉండేవి	Body-Centered Cubic విన్యాసం లో ఉండేవి	Hexagonal Close-pack విన్యాసం లో ఉండేవి
గోల్డ్, బంగారం (Au) సిల్వర్, వెండి (Ag) కాపర్, రాగి (Cu) అల్లూమినం (Al) కేల్సియం, ఖటికం (Ca)	సోడియం (Na) పొటాసియం (K) లిథియం (Li) ఐరన్, ఇనుము (Fe) క్రోమియం (Cr)	జింక్, యశదం (Zn) మెగ్నీసియం, మగ్నం (Mg) కోబాల్ట్ (Co) బెరిలియం (Be) కేడ్మియం (Cd)

లెడ్, సీసం (Pb) నికెల్ (Ni) ఇండియం (In) పెల్లేడియం (Pd) ప్లేటినం (Pt) రోడియం (Rh) స్కేండియం (Sc) స్ట్రోంటియం (Sr) థోరియం (Th)	బేరియం (Ba) నియోబియం (Nb) మోలిబ్డినం (Mo) రుబీడియం (Rb) టేంటలం (Ta) టంగస్టన్ (W) వెనేడియం (V)	హేఫ్నియం (Hf) లేంథనం (La) ఓస్మియం (Os) రీనియం (Re) రుథీనియం (Ru) థేలియం (Tl) టైటేనియం (Ti) యిట్రియం (Y) జర్కోనియం (Zr)

10. ముక్తాయింపు

ఆశ్చర్యం ఏమిటంటే చాలమట్టుకి లోహాలు ఈ మూడు విన్యాసాలలోనూ దరిదాపుగా సమానంగా సర్దుకున్నాయి! ఈ పట్టికలో చోటు చేసుకోకుండా మిగిలిపోయిన లోహాలు లేకపోలేదు. ఉదాహరణకి ఏంటిమొనీ, బిస్మత్ ఈ పట్టికలో లేవు. దానికి కారణం వాటి విన్యాసాలు లోహపు విన్యాసాలలా ఉండక అలోహమైన ఆర్సెనిక్ ని పోలి ఉండడమే. ఆమాటకొస్తే ఈ రెండూ అలోహాల వలె పెళుసుగా ఉంటాయి, వాటి విద్యుత్ వాహకత్వం కూడా తక్కువే. ఈ పట్టిక లోకి ఎక్కకుండా తప్పించుకున్న మరొక లోహం తగరం. దీని విన్యాసం గోడ మీది పిల్లిలా ఉష్ణోగ్రతని బట్టి మారుతూ ఉంటుంది; ఇది అప్పుడప్పుడు వక్రీకృతమైన ఘన స్వరూపంలో కనబడినా తక్కువ తాపోగ్రతల వద్ద వజ్రపు విన్యాసంలోకి మారడం వల్ల వజ్రం వలె పెళుసుగా ఉండి తక్కువ వాహకత్వం ప్రదర్శిస్తుంది.

ఇంతకీ చెప్పొచ్చేదేమిటంటే లోహాలని వర్గీకరణ పేరుతో ఏదో ఒక విధంగా లొంగదీసుకుందామంటే లొంగడం లేదు.

ఆధారాలు

1. J. Crowther, "What is a metal?," Science News, 28, Penguin Books, 1953
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Properties_of_metals,_metalloids_and_nonmetals
3. https://www.angelo.edu/faculty/kboudrea/periodic/physical_metals.htm
ఈమాట, జూలై 2021,https://eemaata.com/em/category/issues/202107

17. రేడియేషన్ అంటే భయపడడం ఎంతవరకు సమంజసం?

1. రేడియేషన్ అంటే ఏమిటి?

శక్తి మూడు విధాలుగా వ్యాప్తి చెందుతుంది. ఒక లోహపు కడ్డీని మంటలో పెట్టినప్పుడు కడ్డీ గుండా వేడి ప్రవహించే పద్ధతిని సంవహనం (conduction) అంటారు. కదిలే గాలితో వేడి కొట్టుకువచ్చే పద్ధతి స్థితిభ్రంశ వ్యాప్తి (convection); వేసవి కాలంలో వేడి గాడ్పు ఒక ఉదాహరణ. గాలి వీచని చోట మంటకి దూరంలో కూర్చున్నప్పుడు మనకి తగిలే వేడి, వెలుతురు వికిరణం లేదా వికీర్ణం (radiation) అనే ప్రక్రియకి ఉదాహరణ. సూర్యుడు ఇచ్చే వేడి, వెలుగు మనకి వికిరణం ద్వారానే వస్తున్నాయి.

కొంచెం సాంకేతిక పరిభాషలో చెప్పాలంటే, “రేణువుల రూపంలో కాని, కిరణాల రూపంలో కాని, కెరటాల రూపంలో కాని, ఒక మాధ్యమం అవసరం లేకుండా శక్తి ప్రసరించి ప్రయాణం చేసే పద్ధతి రేడియేషన్‌కి ఉదాహరణ.”

రేడియేషన్ అనేది కంటికి కనిపించే వెలుగు (దృశ్య కాంతి) రూపంలో ఉండవచ్చు, కంటికి కనిపించని వేడి రూపంలో ఉండవచ్చు, కంటికి కనిపించని ఆల్ఫా రేణువులలా ఉండొచ్చు. నిజానికి కంటికి కనిపించే వెలుగుతో పోల్చి చూస్తే కంటికి కనిపించని రేడియేషన్ కొన్ని కోట్ల రెట్లు ఎక్కువ. కంటికి కనిపించే రేడియేషన్ ని “కాంతి” అనీ ‘వెలుగు” అనీ అంటాం. ఈ శక్తి వేడి రూపంలో ఉంటే ఈ ప్రవాహం “హీట్ రేడియేషన్” (heat radiation), లేదా “ఉష్ణ వికీర్ణం.” ఈ ప్రవహించేది కాంతి అయితే అది “కాంతి వికీర్ణం” (light radiation) లేదా దృశ్య వికీర్ణం (visible radiation). ఈ ప్రవహించేది “సూక్ష్మతరంగాలు” అయితే ఇది “సూక్ష్మతరంగ వికీర్ణం” (microwave radiation). విశ్వమంతా శక్తి మయం కనుక ఈ విశ్వంలో రేడియేషన్ లేని స్థలం అనే ప్రసక్తి లేదు. అది సర్వవ్యాప్తం. ఈ దృశ్యాదృశ్య శక్తి స్వరూపాలన్నిటికి రేడియేషన్ అన్న పేరు ఎందుకు పెట్టేరు?

2. తెలుగులో రేడియేషన్

ఒక కేద్రం నుండి “రేడియల్” (radial) దిశలలో ప్రవహిస్తుంది కనుక దీనిని “రేడియేషన్” అన్నారు. కేంద్రం నుండి పరిధికి గీసిన ఏ గీతనయినా సరే ఇంగ్లీషులో “రేడియస్” (radius) అంటారు. ఈ నామవాచకం నుండి వచ్చిన విశేషణమే “రేడియల్.” కనుక ఒక కేంద్రం నుండి అన్ని దిశల వైపు ప్రయాణించేది “రేడియేషన్.”

తెలుగులో "రేడియస్" ని వ్యాసార్ధం అంటాం. కాని ఈ మాట పైన చెప్పిన విధంగా రకరకాలుగా మలచటానికి లొంగదు. వ్యాసం (diameter) అనే మాట కొంచెం లొంగుతుంది. వ్యాప్తి చెందేది వ్యాసం కనుక, అన్ని దిశలలోకీ కిరణాలులా వ్యాప్తి చెందే ఈ రేడియేషన్ అన్న మాట ని తెలుగులో "వ్యాకిరణం" (వ్యాప్తిచెందే + కిరణం) అనొచ్చు. మనకి సంస్కృతంలో "వి" అనే ఉపసర్గ "మిక్కిలి" అనే అర్థాన్ని సూచిస్తుంది: జయం అంటే గెలుపు, విజయం అంటే గొప్ప గెలుపు. చలనం అంటే కదలిక, విచలనం అంటే మిక్కిలి కదలిక. జ్ఞానం అంటే బ్రహ్మజ్ఞానం, విజ్ఞానం అంటే మరొక రకమయిన బ్రహ్మజ్ఞానం – సైన్సు. ఇదే ధోరణిలో వికిరణం అంటే మిక్కిలి వ్యాప్తి చెందేది – రేడియేషన్. వికీర్ణం అంటే అన్ని పక్కలకి వెదజల్లబడినది అని అర్థం. కనుక మనం రేడియేషన్ ని వికీర్ణం (లేదా, వికిరణం) అందాం.

3. రేడియో ఏక్టివ్ అంటే ఏమిటి?

ఇప్పుడు "రేడియో ఏక్టివ్" అన్న మాటకి అర్థం ఏమిటో చూద్దాం. ముందుగా మనం వార్తలు వినే "రేడియో" కి మనం ఇక్కడ మాట్లాడుతూన్న "రేడియో ఏక్టివిటీ" కి మధ్య ఏదో బాదరాయణ సంబంధం పీకితే పీకొచ్చునేమో కాని, దగ్గర సంబంధం లేదు అని గమనించండి. ఎవ్వరో, ఎక్కడో పేర్లు పెట్టడంలో పరాకు చిత్తగించేరు.

కొన్ని అణువులు (atoms), ప్రత్యేకించి వాటి అణు కేంద్రకంలో అస్థిర నిశ్చలత ఉన్నవి, (ఉదాహరణకి రేడియం వంటి మూలకం యొక్క అణువులు), అకస్మాత్తుగా, బాహ్య శక్తుల ప్రోద్బలం లేకుండా, వికీర్ణాన్ని విడుదల చేస్తాయి. ఇలా విడుదల చెయ్యబడ్డ వికీర్ణంలో సర్వసాధారణంగా ఆల్ఫా రేణువులు, ఎలక్ట్రానులు, అణు కేంద్రకంలో ఉండే నూట్రానుల వంటి పరమాణువులు, గామా కిరణాలు వంటివి ఉంటాయి. ఈ జాతి పదార్థాలని "వికీర్ణతలో చలాకీ తనం చూపించేవి" అని అంటారు. "మా వాడు ఆటల్లో చాలా చలాకీ" అని మనం అంటే అర్థం ఏమిటి? మనం వెనక నుండి తొయ్యకుండా, తనంత తానుగా, ఆటలలో ఆసక్తి చూపేవాడని అర్థం కదా! అదే విధంగా "వికీర్ణతలో చలాకీతనం" అంటే ఏమిటి? బాహ్య శక్తుల ప్రమేయం లేకుండా, కొన్ని అణువులు వాటంతట అవి విచ్ఛిన్నం అయిపోయి, ఆ విచ్ఛిత్తిలో కొన్ని అణుశకలాలు బయట పడి అన్ని దిశలలోకీ వ్యాప్తి చెందటం. ఈ రకం లక్షణం ఉన్న పదార్థాలని "రేడియోఏక్టివ్" (radioactive) అనాలని మరీ క్యూరీ ఆమె పి. ఎచ్. డి. సిద్ధాంత గ్రంథంలో ప్రతిపాదించారు. అంటే, "రేడియం అనే మూలకంలా వికీర్ణం చెయ్యడంలో చలాకీతనం (లేదా ఉత్తేజం) చూపించే పదార్థాలు" అని అర్థం. దీనికి తెలుగు సేత "వికీర్ణ ఉత్తేజిత పదార్థం." మన నిఘంటువులలో దీనిని "రేడియోధార్మిక పదార్థం" అని తెలిగించేరు.

ఇక్కడ "రేడియో ధర్మం" అంటే రేడియేషన్ ని విడుదల చేసే ధర్మం, అంటే, వికీర్ణాన్ని విడుదల చేసే గుణం అని అర్థం. కనుక "రేడియోధార్మిక పదార్థం" అన్నా "వికీర్ణ ఉత్తేజిత పదార్థం" అన్నా వికీర్ణతలో చలాకీతనం చూపించే పదార్థం అని అర్థం.

"రేడియేషన్," "రేడియోఏక్టివ్" వంటి మాటలు విన్నప్పుడు మనకి అణు బాంబులు, అణు విద్యుత్ కేంద్రాలలో ప్రమాదాలు, కేన్సరు వ్యాధి, మొదలైన భయంకరమైన విషయాలు మనస్సులో మెదులుతాయి. కాని పైన ఇచ్చిన వివరణ చదివిన తరువాత ఈ రెండూ ప్రకృతిలో సహజ సిద్ధమైన ప్రక్రియలే కాని ప్రత్యేకించి మానవుడు సృష్టించిన ప్రమాదాలు కావని తెలుస్తూనే ఉంది కదా. ఏదైన శృతి మించినా, మితి మీరినా ప్రమాదమే. మితి మీరితే అన్ని రకాల వికీర్ణాలూ ప్రమాదమే. భోగి మంటకి మరీ దగ్గరగా వెళితే ఒళ్లు కాలదూ?

4. రేడియో ఏక్టివ్, విద్యుదయస్కాంత వికీర్ణాల మధ్య తేడా

రేడియం, యురేనియం వంటి పదార్థాలు నుండి వెలువడే వికీర్ణానికీ సెల్ ఫోనులు, మైక్రోవేవ్ ఆవాల వంటి ఉపకరణాల నుండి వెలువడే వికీర్ణానికి మధ్య తేడా ఉందా?
రేడియం, యురేనియం వంటి రేడియో ధార్మిక పదార్థాలు నుండి వెలువడే వికీర్ణంలో ముఖ్యంగా ఉండేవి ఎలక్ట్రాన్, న్యూట్రాన్ వంటి రేణువులు, ఆల్ఫా, బీటా, గామా కిరణాలు, వగైరా. ఆల్ఫా కిరణాలు అంటే రవిజని (Helium) అణువు చుట్టు ప్రదక్షిణం చేసే ఎలక్ట్రానులని పీకేయ్యగా మిగిలిన అయానులు. ఆల్ఫా కిరణాలు చాల నీరసమైనవి; వాటిని ఒక కాగితంతో ఆపు చెయ్యవచ్చు. బీటా కిరణాలు అంటే వికీర్ణ ఉత్తేజిత (రేడియోఏక్టివ్) పదార్థాలు విచ్ఛిన్నం అయినప్పుడు బయటకి జోరుగా వచ్చే శక్తిమంతమైన ఎలక్ట్రానులు. బీటా కిరణాల్ని ఆపడానికి ఒక పల్చటి ప్లేస్టిక్ పలక చాలు. సెల్ ఫోనులు, మైక్రోవేవ్ ఆవాల వంటి ఉపకరణాల నుండి వెలువడేవి విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు. వీటి శక్తి మధ్యస్థంగా ఉంటుంది. ఈ శక్తితో అణువులో ఉన్న ఎలక్ట్రానులని ప్రోద్ధుతించ (బయటకి మెడ్డగించ) లేము. అనగా, ఇంగ్లీషులో ionize చేయలేము. గామా కిరణాలని ఆపడానికి మందమైన కాంక్రీటు గోడ కావాల్సి ఉంటుంది. ఇవి తాకితే శరీరం కాలుతుంది. ఇది ప్రోద్ధుత వికీర్ణం (ionizing radiation). వికీర్ణ ఉత్తేజిత పదార్థాలనుండి వెలువడేది శక్తిమంతమైన ప్రోద్ధుత వికీర్ణం అయితే దాని యెడల మనం తగు జాగ్రత్తలు తీసుకోవాలి.

5. వికీర్ణ ఉత్తేజితాల అర్ధాయువు

నిజానికి మన చుట్టూ ఉన్న వాతావరణం అంతా వికీర్ణ ఉత్తేజిత పదార్థంతో నిండి ఉంది అని చెబితే

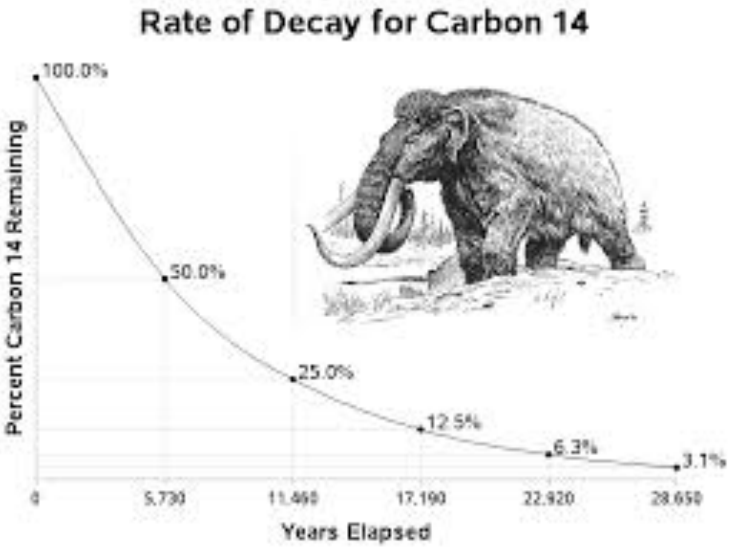
నమ్మగలరా? మన వాతావరణానికి ఈ వికీర్ణ ఉత్తేజితం (radioactivity) ఎక్కడినుండి వచ్చింది? రోదసి లోతుల్లోంచి వచ్చే అతి శక్తిమంతమైన కాస్మిక్ కిరణాలు మన వాతావరణంలోని నత్రజని అణువులని ఢీకొన్నప్పుడు వాటిల్లో కొన్ని రూపాంతరం చెంది “కార్బన్-14” గా మారతాయి. ఈ కార్బన్-14 (C-14) సహజంగా వికీర్ణ ఉత్తేజిత పదార్థం. దీనిని ఇంగ్లీషులో “రేడియో కార్బన్” అని కూడ అంటారు. మనం “ఉత్తేజిత కర్బనం” అని కాని “వికీర్ణ కర్బనం” అని కాని అందాం. మామూలు కర్బనానికీ (C-12) కీ, వికీర్ణ కర్బనం (C-14) కి మధ్య లక్షణాలలో కొన్ని పోలికలు, కొన్ని తేడాలు ఉన్నాయి. అయినప్పటికీ వీటిని రెండింటిని ఆవర్తన పట్టిక (Periodic Table) లో ఒకే గదిలో పెడతారు కాబట్టి వీటిని ఏకస్థానులు (isotopes) అంటారు. వికీర్ణ కర్బనాన్ని వికీర్ణ ఏకస్థాని (radio isotope) అంటారు.

మన వాతావరణంలో బొగ్గుపులుసు వాయువు (కార్బన్ డై ఆక్సైడ్) కూడ ఉంటుంది కదా. ఈ కార్బన్ డై ఆక్సైడ్ బణువు (molecule) తయారయినప్పుడు అందులోకి వికీర్ణ ఏకస్థాని కార్బన్-14 ప్రవేశించే సావకాశం బహు కొద్దిగా ఉంది. ఒక ట్రిలియను (1,000,000,000,000) కార్బన్ డై ఆక్సైడ్ బణువులని పరీక్షించి చూస్తే వాటిల్లో ఒక బణువులో ఈ కార్బన్-14 అణువు ఉండే సావకాశం ఉంది. అంటే ఉత్తేజిత కర్బనం గాలి ఎక్కడ ఉంటే అక్కడ అతి కొద్ది మోతాదులో ఉంటుందన్న మాటే కదా?

భూమి మీద ఉన్న వృక్ష సామ్రాజ్యం అంతా కిరణజన్య సంయోగక్రియ కొరకు వాతావరణంలో ఉన్న కార్బన్ డై ఆక్సైడ్ ని పీల్చుకుంటాయని చిన్నప్పుడే చదువుకున్నాం కదా. ఈ ప్రక్రియలో చెట్లు కాసింత ఉత్తేజిత కర్బనాన్ని కూడ పీల్చుకుంటాయి. కనుక చెట్లన్నీ వికీర్ణ ఉత్తేజితాలే! ఆ చెట్లని మేసిన జంతువులు కూడ వికీర్ణ ఉత్తేజితాలే! ఆ చెట్లని కాని, జంతువులని కాని తిన్న మానవులూ వికీర్ణ ఉత్తేజితానికి నిత్యం గురి అవుతూనే ఉంటున్నారు. దీనిని మనం నేపథ్య వికీర్ణం (background radiation) అనొచ్చు.

చెట్లు, జంతువులు, మనుష్యులు మరణించినప్పుడు, గాలి పీల్చటం ఆపేస్తాయి కనుక, ఈ వికీర్ణ ఉత్తేజితం వాటి జీవకణాలలో పేరుకొనటం మాని, ఆప్పటినుండి నశించటం మొదలుపెడుతుంది. కాల చక్రం 5,700 సంవత్సరాలు తిరిగేటప్పటికి ఈ వికీర్ణ ఉత్తేజితంలో సగం భాగం నశిస్తుంది. (ఇది వికీర్ణ ఉత్తేజిత కర్బనం-14 లక్షణం.) ఈ 5,700 సంవత్సరాల కాలాన్ని కర్బనం-14 యొక్క అర్ధాయుస్సు (half-life) అంటారు. ఒక చెట్టు అవశేషాలలో కాని, ఒక జంతువు యొక్క అవశేషాలలో కాని కర్బనం-14 కి సంబంధించిన వికీర్ణ ఉత్తేజితం ఇంకా ఎంత మిగిలి ఉందో తెలిస్తే ఆ చెట్టు/జంతువు ఎన్నాళ్ల క్రితం చచ్చిపోయిందో లెక్క కట్టి చెప్పొచ్చు (బొమ్మ చూడండి). ఉదాహరణకి కర్బనం-14 లో ఉన్న వికీర్ణ ఉత్తేజితం పరిపూర్ణంగా నశించిపోవటానికి 50 అర్ధాయుస్సుల కాలం పడుతుంది. అంటే,

ఒక ప్రాణి చచ్చిపోయిన తరువాత ఆ ప్రాణి అవశేషాలలో 50 x 5,700 = 2,85,000 సంవత్సరాల పాటు (ఉరమరగా, 3 లక్షల సంవత్సరాల పాటు) ఈ వికీర్ణ ఉత్తేజితం ఉంటుంది.



బొమ్మ: ఏనుగు ఆకారంలో ఉన్న జంతువు అవశేషాలలో 12% వికీర్ణ ఉత్తేజితం కనిపిస్తే అది ఉరమరగా 17,000 సంవత్సరాల క్రితం ఈ భూమి మీద బతికిందని నిర్ధారిస్తారు.

ఈ కథనం ప్రకారం వికీర్ణం ('రేడియేషన్") అనేది ప్రాణాంతకమైన ప్రమాదాన్ని తీసుకొచ్చే "అమ్మవారు" కాదని తెలుస్తునాది కదా! మనం అంతా బహుకొద్ది మోతాదులలో అసంకల్పంగా వికీర్ణం ప్రసారం చేస్తూనే ఉన్నాం! (మన ఎముకలలో ఉండే అనిశ్చల పొటాసియం కారణంగా.) మన వంటగదులలో నల్లసేనపురాయి (గ్రేనైట్) తో చేసిన తీనెలు కాని ఉంటే అవి కూడా కాసింత వికీర్ణంని ప్రసారం చేస్తూనే ఉంటాయి. మీ ఇంట్లో కాని పొగ పత్తాసులు (smoke detectors) కాని ఉంటే వాటిల్లో ఉండే ఇసుమంత అమెరిసియం (Americium) మూలకం కూడా వికీర్ణం విడుదల చేసేదే! (దానిని నోట్లో పెట్టుకోకుండా ఉన్నంత సేపు ప్రమాదం లేదు.) దంత వైద్యుడి దగ్గరకి వెళ్ళినప్పుడు అక్కడ వారు పళ్ళకి తీసే ఎక్స్-రే ఫోటోల వల్ల కూడా వికీర్ణం ధాటీకి గురవుతూనే ఉంటాం. ఇవన్నీ మనకి తీరని అపకారం చెయ్యటం లేదు కదా!

వికీర్ణం యొక్క ప్రభావం "ఏ రకం వికీర్ణం? ఎంత సేపు దాని స్పర్శకి గురి అయేము? దాని ఉధృతి ఎంత?" వగైరా అంశాల మీద ఆధారపడి ఉంటుంది తప్ప అన్ని రకాల వికీర్ణ ఉత్తేజిత పదార్థాలూ, అన్ని వేళలలోను అపకారం చెయ్యవు. ఇప్పుడు కొన్ని ప్రత్యేకమైన సందర్భాలని పరిశీలిద్దాం.

6. అణు బాంబులలో పుట్టే వికీర్ణ ఉత్తేజితం

జపాన్ లోని హీరోషిమా నగరం మీద 1945 లో అణు బాంబు పడిందని మనందరికీ తెలుసు. అప్పుడు ఉరమరగా 75,000 మంది ప్రాణాలు పోగొట్టుకున్నారని ఒక అంచనా ఉంది. ఇహ ఆ నగరం ఒక శతాబ్దం పాటు వాసయోగ్యంగా ఉండదని అప్పుడు భయపడ్డారు. ఇప్పుడు, అనగా 75 ఏళ్ళ తరువాత, ఆ నగరం జనాభా మూడింతలు పెరిగింది!

ఏప్రిల్ 26, 1986 లో ఉక్రెయిన్ లోని చెర్నోబిల్ దగ్గర అణుశక్తితో నడిచే విద్యుత్ ఉత్పాదక కేంద్రం వద్ద పెద్ద ప్రమాదం జరిగింది. వికీర్ణపు ప్రభావం వల్ల ఆ పరిసర ప్రాంతాలు ఇంకా వాసయోగ్యం కాలేదు.

మార్చి 11, 2011 న జపానులోని ఫుకుషిమా దగ్గర అణుశక్తితో నడిచే విద్యుత్ ఉత్పాదక కేంద్రం భూకంపం వల్ల పుట్టుకొచ్చిన సునామీ కారణంగా బాగా దెబ్బ తింది.

ఈ సంఘటనల మధ్య తేడాలు ఏమిటి? వీటి వల్ల మనం నేర్చుకోవలసిన పాఠాలు ఏమిటి? ఈ సమస్య అర్థం కావాలంటే వికీర్ణం యొక్క లక్షణాలు సమగ్రంగా అర్థం అవాలి.

భూమి యొక్క ఖనిజపు పొరలలో సహజసిద్ధంగా దొరికే యురేనియం-238 యొక్క అర్ధాయుస్సు 4.5 బిలియను సంవత్సరాలు. ఇంత సుదీర్ఘమైన అర్ధాయుస్సు యొక్క పర్యవసానం ఏమిటిట? యురేనియం-238 లో నిక్షిప్తంగా ఉన్న శక్తి అంతా వికీర్ణం ద్వారా బయట పడడానికి 13.5 బిలియను సంవత్సరాల కాలం కంటె ఎక్కువ సేపు పడుతుంది. (If we have a ton of Uranium 238, in 2.25 billion years about 750 Kg would remain undecayed, at 4.5 billion years 500 Kg will remain, at 9 billion years 250 Kg will remain, at 13.7 billion years 125 Kg, and so on. The age of the universe is estimated at 13.7 billion years.) కనుక యురేనియం-238 విడుదల చేసే వికీర్ణం వల్ల హాని కలగడానికి వీలు లేదు! నిజానికి యురేనియం-238 విడుదల చేసే వికీర్ణం అంతా, దరిదాపుగా, శక్తివిహీనమైన ఆల్ఫా రేణువుల రూపంలో ఉంటుంది; దానిని పలచటి కాగితంతో ఆపు చేసెయ్యవచ్చు కనుక అది మన శరీరపు చర్మం యొక్క బయటి పొరని దాటి లోనికి దూసుకుని పోలేదు. కాని ఎక్కువ స్థిరత్వంతో ఉన్న యురేనియం-238 బాంబులు తయారీకి పనికిరాదు; దానికి స్థిరత్వం తక్కువ ఉన్న యురేనియం-235 కావాలి. ఈ యురేనియం-235 అర్ధాయుస్సు కేవలం 700 మిలియను సంవత్సరాలు. అనగా యురేనియం-238 తో పోల్చితే యురేనియం-235 ఎక్కువ ఉధృతితో వికీర్ణంని ప్రసారం చేస్తుంది. ఎంత ఎక్కువ? ఉరమరగా 6.5 రెట్లు ఎక్కువ. (అనగా, U-235 తనలో ఉన్న శక్తిని 6.5 రెట్లు ఎక్కువ జోరుగా ఖర్చు పెడుతుంది!)

అయినా సరే ఒక రూపాయి కాసంత U-235 ని రబ్బరు తొడుగులు వేసుకున్న చేతితో పట్టుకుంటే ఏ ప్రమాదమూ ఉండదు; దాని నుండి వచ్చే ధూళిని పీల్చకుండా ఉన్నంత సేపూ!

అనగా ఏమిటన్నమాట? U-238 రసాయనికంగా విష పదార్థమే కాని, వికీర్ణం పరంగా హానికరం కాదు. U-235 ఎక్కువ శక్తిమంతమైన వికీర్ణంని విడుదల చేసినప్పటికీ దానిని తినకుండా, పీల్చకుండా ఉన్నంత సేపు పెద్దగా హాని చెయ్యదు.

మరయితే U-235 అంటే భయమెందుకు? U-235 రూపాయి కాసంత చిన్నగా ఉన్నంత సేపూ భయపడనక్కర లేదు. అదే "కొబ్బరి బోండాం" అంత ఒకే చోట ఉంటే ప్రమాదం, పెను ప్రమాదం! ఒక్క రౌడీ వెధవ పెద్దగా హాని చెయ్యలేడు. అదే పెద్ద రౌడీ మూక ఒక చోట చేరితే దొమ్మీ జరగొచ్చు కదా. అలాగే ఎక్కువ U-235 ఒకే చోట ఉంటే, పరిస్థితులు అనుకూలిస్తే, ఒకొక్క అణువు విడుదల చేసే వికీర్ణం "అలా గాలి లోకి పోకుండా" పక్కనున్న అణువులని రెచ్చగొట్టి వాటి చేత కూడా వికీర్ణంని విడుదల చేసేటట్లు రెచ్చగొడితే పెద్ద పెట్టున శక్తి ఎంతో త్వరగా విడుదల అవుతుంది. అలా ఉత్పన్నమయే శక్తికి కళ్ళెం వేసి ఉపయోగించ గలిగితే ఆ వేడితో నీళ్ళు మరిగించి, ఆ ఆవిరితో యంత్రాలని నడిపి, విద్యుత్తు పుట్టించవచ్చు. అలా నియంత్రించకపోతే? హిరోషిమాలో పేలిన బాంబులా పేలిపోతుంది!

7. హిరోషిమా కథ

హిరోషిమా మీద పేలిన బాంబులో 64 కిలోలు (141 పౌనులు) సారవంతమైన యురేనియం-235 మూలకం ఉంది. ఇది నాసి రకం, మొదటి తరం బాంబు అవడం వల్ల ఈ బాంబులో ఉన్న యురేనియంలో కేవలం 1.5% (అనగా 0.96 కిలోలు లేదా 2.1 పౌనులు) మాత్రమే శక్తి రూపంలో విడుదల అయి 70,000 ప్రజల ప్రాణాలు తీసింది. మిగిలిన 63.04 కిలోలు (138.9 పౌనులు) ఏమయినట్లు? బాంబు పుట్టించిన వేడికి కరిగిపోయి, కావిరి (vapor) అయిపోయి, పుట్టగొడుగు ఆకారంలో ఉన్న మేఘంలో కలిసిపోయి, పసిఫిక్ సముద్రం ఉన్నంత మేరా ఆకాశంలో వ్యాపించింది. తరువాత వర్షం ద్వారా కింద పడి సముద్రంలో కలిసిపోయింది.

"ఎంత పని జరిగింది! మన వాతావరణాన్ని, సముద్రాలని యురేనియంతో కలుషితం చేసేసేమే!" అని విచారపడుతున్నారా?

పడనక్కరలేదు. మన సముద్రాలలో ఎన్నాళ్ళబట్టో యురేనియం ఉంది. ఎక్కడనుండి వచ్చింది? భూమి

మీద ఉన్న రాళ్ళ నుండి! భూమిలో ఉన్న రాళ్ళల్లో ఉన్న ఖనిజాలని (యురేనియంతో సహా) నదులు మోసుకెళ్ళి సముద్రం పాలు చేస్తున్నాయి కదా! ప్రతి 20 ఘన కిలోమీటర్ల సముద్రజలంలో హీరోషిమా బాంబు కల్తీ చేసినంత యురేనియం ఉంది. సముద్రాలలో ఎంత నీరు ఉంది? ఉరమరగా 1.3 ఘన కిలోమీటర్లు నీరు ఉంది. కనుక హీరోషిమా బాంబు పేలక మునుపే సముద్రాలలో బాంబు విడుదల చేసిన యురేనియం కంటె 67,000,000 రెట్లు యురేనియం ఉంది!! మరొక విధంగా చెబుతా. హీరోషిమా బాంబు వల్ల పర్యావరణం ఏమాత్రం యురేనియంతో కల్తీ అయిందిట? పెద్ద బండి సున్నా అంత!!

మరి ఖర్చు అయిపోయిన 1.5% యురేనియం సంగతి? అది చాల మట్టుకి భయంకరమైన వికీర్ణ ఉత్తేజిత కలగూరగంప లా తయారయింది. (Much of it transmuted into a cocktail of highly radioactive scary isotopes!) ఈ కలగూరగంపలో ఏమున్నాయో చూద్దాం. ఒక మూలకం యొక్క సమస్థానులు (isotopes) అన్నీ మెండలీయవ్ నిర్మించిన మేడలో ఒకే గదిలో (స్థానంలో) సర్దుకుని ఉన్నప్పటికీ అవి అన్ని విధాలా సర్వసమానులు కావు. అణు విచ్ఛేదన కారణంగా పుట్టుకొచ్చిన సమస్థానులలో తక్కువ అర్ధాయుస్సు ఉన్నవి మనకి ఎక్కువ హాని చేస్తాయి. ఉదాహరణకి నియోబియం-95, సీజియం-145, బేరియం-140, ప్రత్యేకించి అయొడీన్-131 చాలా ప్రమాదకరమైనవి. ఎందుకంటే వాటి అర్ధాయుస్సు కేవలం కొద్ది రోజుల ప్రమాణంలో ఉంటుంది కనుక!! అనగా, వాటిలో నిక్షిప్తమై ఉన్న శక్తి అంతా కొద్ది రోజులలో విడుదల అయిపోతుంది; యురేనియం-235 లా శతాబ్దాల తరబడి తీసుకోదు. అంత శక్తి, అంత జోరుగా విడుదల అవటం వల్లనే అవి ప్రమాదకరం. ప్రత్యేకించి అయొడీన్-131 ఎక్కువ హాని చేస్తుంది. దీనికి కారణం మన గొంతుకలో ఉన్న కాకళగ్రంథి (thyroid gland) అయొడీన్ ని సులభంగా పీల్చుకుని తనలో నిల్వ చేస్తుంది. అదే విధంగా స్ట్రాంటియం–89 ఎముకలలో చేరి పేరుకుంతుంది. ఇక్కడ పేర్కొన్న ఉత్పన్నాలు భీకరాకారాలే – కాని, అవి బుద్బుదప్రాయాలు; ఇవి పుట్టిన కొద్ది సేపట్లోనే క్షీణించి, నశించిపోతాయి. రెండు వారాల్లో వాటి ఉధృతి తగ్గిపోతుంది; రెండు ఏళ్లల్లో వాటి అవశేషాలు పూర్తిగా నశించిపోతాయి. కాని దీర్ఘకాలం మనుగడ సాగించగలిగే ఉత్పన్నాలు – ఉదా. స్ట్రాంటియం– 90, సీజియ –137 దీర్ఘకాలం (అనగా దరిదాపు 30 ఏళ్ల పాటు) క్షీణించకుండా మన మధ్య ఉండి కేన్సరు వంటి రోగాలకి కారకులవుతాయి. కాలక్రమేణా ఇవి కూడ మన పర్యావరణం నుండి నిష్క్రమిస్తాయి.

పైన చెప్పిన ఉదంతం అంతా నిజమే అయితే అణ్వాయుధాలంటే ఎందుకీ భయం? అణుశక్తి కర్మాగారాలంటే ఎందుకీ నిరసన? ఇదంతా అపతంత్రకమా? ఉన్మాదమా? కాకపోతే తప్పుడు సమాచారపు ప్రచారమా?

రెండవ ప్రపంచ యుద్ధంలో బాంబు దెబ్బ తిని శిధిలం అయిపోయిన హీరోషిమా ఇప్పుడు కళకళలాడుతూ ఉంది. నూనె వనరులు లేని జపాను ఇంత త్వరగా కోలుకోడానికి కారణం అణుశక్తి దన్నుగా నిలచిన విద్యుత్ ఉత్పత్తి కేంద్రాలు. సునామి వచ్చి ఫుకుషిమా లో ఉన్న విద్యుత్ ఉత్పాదక కేంద్రం దెబ్బ తిన్న తరువాత జపానుతోపాటు అణువిద్యుత్ శక్తి మీద ఆధారపడ్డ మిగిలిన ప్రపంచం బెదిరిన మాట వాస్తవమే!

8. ఫుకుషీమా కథ

ఫుకుషీమాలో ప్రమాదం ఎలా జరిగిందో, దానివల్ల ఎటువంటి నష్టం కలిగిందో చూద్దాం. ఎక్కడో సముద్రగర్భంలో భూకంపం వచ్చింది. ఆ ధాటికి అక్కడ భూమి గతక్కున దిగజారిపోయింది. భూమితోపాటు సముద్రంలోని నీరు ఆ అగాథంలోకి పడింది. దానితో సముద్రంలో పెద్ద కెరటం పుట్టింది. ఉవ్వెత్తున లేచిన కెరటం విమానం పరిగెట్టినంత జోరుతో పరుగు తీసి జపాను కోస్తా ప్రాంతాలమీద విరుచుకు పడింది. జనావాసాలు మునిగిపోయేయి. భారీగా ప్రాణ నష్టం వచ్చింది. నిజంగా ఎంత నష్టం వచ్చిందో ఎవ్వరికీ తెలియదు. చాల మంది ఆ సునామీలో కొట్టుకుపోయారు. ఇంకా భారీగా ఆస్తి నష్టం వచ్చింది. ఇదంతా ప్రకృతి వైపరీత్యం తప్ప మానవుడు చేసిన తప్పు లేదు. ఈ సునామీని ప్రేరేపించిన భూకంపం చిన్నదేమీకాదు. ఈ భూకంపానికి జపాను కోస్తాలో ఉన్న ఫుకుషిమా అనే ఊళ్లో ఉన్న అణు విద్యుత్ ఉత్పాదక కేంద్రం దెబ్బతింది. ఎలా అని అడగరేం?

భూకంపం తాకిడికి విద్యుత్ ఉత్పాదక కేంద్రంలోని కాంక్రీటు కట్టడాలు బాగానే తట్టుకున్నాయి. సునామీ తెచ్చిన ముంపు వల్ల కూడ కట్టడాలకి హాని జరగలేదు. అణు క్రియాకలశం (“రియాక్టర్”) ని చల్లబరచటానికి వాడే నీటి తోడికలని (పంపులని) నడిపే యంత్రాంగానికి విద్యుత్ సరఫరా కావాలి కదా. ఆ సరఫరా చేసే వలయం దెబ్బ తింది. ఈ వలయానికి వెనక దన్నుగా మరొకదానిని ఏర్పాటు చేసుకోవాలన్న ప్రాథమిక సూత్రం మరిచిపోయేరు. దానితో క్రియాకలశానికి శీతలోపచారాలు చేసే కార్యక్రమం కుంటు పడింది. దాంతో క్రియాకలశం వేడెక్కి, కరిగిపోయి, లోపల ఉన్న ఇంధనపు కడ్డీలు కరిగిపోయి వికీర్ణాన్ని బయటకి విడుదల చేసేయి. కొన్ని వందల టన్నుల నీరు (చల్లబరచటానికి వాడే నీరు) కల్తీ అయిపోయింది. దీనితో ఆ చుట్టుపట్ల 12 మైళ్లు దూరంలో ఉన్న జనావాసాలు ఖాళీ చెయ్యవలసి వచ్చింది. విపరీతమైన ధన నష్టం వచ్చింది.

భూకంపంతోపాటు సునామీ రావటం అరుదైన విషయం. భూకంపం కంటె సునామీ ఎక్కువ హాని చేసింది. సునామీ వల్ల జరిగిన ప్రాణ నష్టంతో పోల్చి చూస్తే ఫుకుషిమా లోని అణు క్రియాకలశం వల్ల జరిగిన ప్రాణ నష్టం అత్యల్పం. కాని వార్తలలో పతాక శీర్షిక అధిరోహించినది ఈ అణుశక్తి కేంద్రంలో

జరిగిన ప్రమాదం!

9. చెర్నోబిల్ కథ

ఆనాటి సోవియట్ యూనియన్ లోని ఉక్రెయిన్ లో ఉన్న అణుశక్తి విద్యుత్ ఉత్పాదక కేంద్రంలో ఏప్రిల్ 1986 లో పెను ప్రమాదం జరిగింది. రాజకీయాలతో నిండిన వివరాలలోకి వెళ్లకుండా ఈ ప్రమాదానికి కారణం ఆ కేంద్రం రూపకల్పనలో జరిగిన లోపాలు అని చెప్పి ఉరుకుంటాను. అన్ని పరికరాలు, వ్యవస్థలు సరిగ్గా పని చేస్తున్నాయో, లేదో చూడడానికి సాంకేతిక సిబ్బంది పరీక్షలు చేస్తున్న సందర్భంలో ఒక క్రియాకలశం గతి తప్పి, వేడెక్కిపోయి, పేలిపోయింది. అప్పుడు ఆ క్రియాకలశంలో వికీర్ణ ఉత్తేజితంతో పిటపిటలాడుతున్న ఇంధన ద్రవ్యాలు, అనుజనితాలు బయటకి వెదజల్లబడ్డాయి.

అనగా, దరిదాపు అణు బాంబు పేలినంత పని అయిందన్నమాట! పోలికలు చెప్పడం దుర్లభం కానీ హీరోషిమా, నాగసాకిల మీద పేలిన బాంబులు భూమట్టానికి కొన్ని వేల అడుగుల ఎత్తున గాలిలో, రూపకల్పన చేసినవారి ఆదేశాల మేరకి, ఒక క్రమ పద్ధతిలో పేలాయి. చెర్నోబిల్ లో జరిగినది ప్రమాదవశాత్తు, భూమట్టం మీద, జరిగిన పేలుడు. ఈ తేడాల వల్ల హీరోషిమా, నాగసాకిల రెండింటి మీద విరుచుకుపడ్డ వికీర్ణం కంటే చెర్నోబిల్ లో 400 రెట్లు ఎక్కువ వికీర్ణం విరుచుకుపడి ఉండవచ్చని ఒక అంచనా ఉంది. ఇందువల్ల ప్రమాదం జరిగి 40 ఏళ్ళు దాటినా చెర్నోబిల్ ఇంకా వాసయోగ్యం కాలేదు.

10. వికీర్ణఉత్తేజిత వ్యర్థాలు

ఈ సందర్భంలో వికీర్ణ ఉత్తేజిత వ్యర్థాలు (radioactive wastes) గురించి కూడా చెప్పుకోవాలి. కొన్ని రకాల విద్యుత్ ఉత్పాదక కేంద్రాలు విద్యుత్తుతోపాటు వ్యర్థ పదార్థాలని కూడా తయారు చేస్తాయి. ఉదాహరణకి నేలబొగ్గుతో నడిచే కేంద్రాల సంగతే చూద్దాం. బొగ్గు కాలినప్పుడు దానిలో ఉన్న ఉదకర్బనాలు (hydrocarbons) పొగ ద్వారా బయటికి వచ్చి పర్యావరణాన్ని కలుషితం చేస్తున్నాయి. బొగ్గుని తవ్వి తీసినప్పుడు గనులలో బందీగా ఉన్న వికీర్ణ ఉత్తేజిత రేడాన్ (radioactive Radon) వాయువు విడుదల అవుతుంది. దీని అర్ధాయుస్సు కేవలం 96 గంటలే అయినప్పటికీ గనులలో పని చేసే కార్మికులకి ఇది హాని చెయ్యగలదు. మన పర్యావరణానికి ఈ దిశలో జరిగే హాని చాప కింద నీరులా నెమ్మదిగా జరుగుతుంది. కనుక మనకి గభాల్న తెలియదు. అణు విద్యుత్ ఉత్పాదక కేంద్రాలలో ప్రమాదం జరిగినప్పుడు హాని అకస్మాత్తుగా జరుగుతుంది కనుక అది వార్తాపత్రికలలో పతాక శీర్షిక అయి కూర్చుంటుంది.

అలాగని వికీర్ణ ఉత్తేజిత వ్యర్థాల యెడల అప్రమత్తతని విడనాడరాదు. వీటిల్లో రెండు రకాలు ఉన్నాయి: నిమ్న శ్రేణివి, ఉన్నత శ్రేణివి. నిమ్న శ్రేణి (low-level) వికీర్ణ ఉత్తేజిత వ్యర్థాలు దైనందిన కార్యక్రమాలలో క్రియాకలశాలలో ఉత్పన్నమయేవి, ఆసుపత్రులలో వైద్యం కోసం తయారు చేసినవి, కళాశాలలో పరిశోధనల సందర్భంలో పుట్టుకొచ్చేవీను. వీటి వల్ల పెద్ద ప్రమాదం జరిగే సావకాశం లేదు. ఉన్నత శ్రేణి (high-level) వికీర్ణ ఉత్తేజిత వ్యర్థాల సమస్య ఖర్చు అయిపోయిన ఇంధనపు కడ్డీలని (fuel-rods) క్రియాకలశాల నుండి బయటకి తీసి వాటిని ఎలా పారవేయాలా అన్నప్పుడు వస్తుంది. వంట అయిన తరువాత పొయ్యిలో కొరకంచులని ఏమి చేస్తాము? నీళ్లు పోసి ఆర్పేస్తాము. ఖర్చు అయిపోయిన ఇంధనపు కడ్డీలు కొరకంచులులా వేడిగా ఉండడమే కాకుండా ఎక్కువ వికీర్ణతతో భుగభుగలాడుతూ ఉంటాయి. (Spent fuel rods are thermally hot as well as highly radioactive and require remote handling and shielding.)

విద్యుత్ కేంద్రం సజావుగా పని చేస్తున్నప్పుడు ఈ ఇంధనపు కడ్డీలలో ఉన్న యురేనియం-235 అణువులు విచ్ఛిత్తి చెందగా పుట్టిన శక్తిని నీళ్లు మరిగించి ఆవిరి పుట్టించడానికి వాడతారు . ఈ విచ్ఛిత్తి సందర్భంలో స్ట్రాంటియం– 90, సీజియ –137 వంటి వికీర్ణ ఉత్తేజిత అనుజనితాలు పుట్టుకొస్తాయి. వీటి మూలంగానే క్రియాకలశంలో వేడి పుడుతుంది; వేడితోపాటు హాని కలిగించే వికిరణం కూడా పుట్టుకొస్తుంది. క్షీరసాగర మధనం జరిగినప్పుడు మంచి బహుమానాలతో పాటు విషం కూడా పుట్టుకొచ్చినట్లు.

అణు విచ్ఛిన్నం జరిగినప్పుడు కొన్ని శక్తిమంతమైన నూట్రానులు కూడా పుట్టుకొస్తాయి. కొన్ని యురేనియం-235 అణువులు విశృంఖలమైన నూట్రానులని వశం చేసుకుని ప్లుటోనియం వంటి బరువైన మూలకాలుగా మారతాయి. ఇలాంటి, “యురేనియం కంటె బరువైన,” ప్లుటోనియం జాతి మూలకాలు వేడిని ఇవ్వవు కానీ దరిదాపు 1000 ఏళ్ల పైబడి ప్రమాదకరమైన వికిరణాన్ని ప్రసారం చేస్తూ ఉంటాయి. మనం భయపడవలసినది వీటి గురించి. ఎందుకంటే స్ట్రాంటియం– 90, సీజియ –137 ల అర్థాయుస్సు కేవలం 30 సంవత్సరాలు అయితే ప్లుటోనియం-239 అర్థాయుస్సు 24,000 సంవత్సరాలు.

11. ఉపసంహారం

ఇదంతా చదివిన మీదట వికీర్ణం మంచి చెడ్డల మీద తీర్మానాలు చేసేముందు సందర్భోచితంగా ఆలోచన చెయ్యాలి అన్నది స్పష్టం అవుతోంది. అగ్ని ప్రమాదాలలో వేలకి వేలు చచ్చిపోతున్నారు, కోట్లకి

కోట్లు ఆస్తి నష్టాలు వస్తున్నాయి. కానీ నిప్పు లేకుండా మన మనుగడ సాగదు. కారు ప్రమాదాలలో లక్షలాది మనుష్యులు చచ్చిపోతున్నారు. విమాన ప్రమాదాలలో వందలకొద్దీ మరణిస్తున్నారు. కానీ ఈ సదుపాయాలని మనం వదలుకోలేకపోతున్నాము కదా.

మరొక కోణం నుండి చూద్దాం. ఇటీవల “పర్యావరణం వేడెక్కిపోతోంది” అనే ఘోష ప్రపంచ వ్యాప్తంగా వినిపిస్తోంది. దీనికి కారణం మనం విచ్చలవిడిగా నేలబొగ్గు, రాతిచమురు వంటి శిలాజ ఇంధనాలని వాడడమే అని శాస్త్రవేత్తలు చెబుతున్నారు. పద్దెనిమిదవ శతాబ్దపు ఆరంభంలో జరిగిన పారిశ్రామిక విప్లవం యొక్క “ఫలితం” ఇప్పుడు అనుభవిస్తున్నాము కదా. అంటే బొగ్గు వాడకం వాళ్ళ కలిగిన నష్టం మన అవగాహనలోకి వచ్చేసరికి 99 ఏళ్ళు పట్టింది. రేడియేషన్ వల్ల కలిగే లాభ నష్టాలు మనకి 50 ఏళ్లలోనే అర్థం అయాయి. శిలాజ ఇంధనాల వాడకం ఆపేస్తే వాటి స్థానం ఆక్రమించగల ఇంధనాలు ఏవి? అని ప్రశ్నించుకుంటే మనకి ప్రస్తుతం అణుశక్తి తప్ప ప్రత్యామ్నాయాలు కనబడడం లేదు.

ఈ వ్యాసం చదివిన తరువాత పాఠకులు ఇంటికి తీసుకెళ్లవలసిన అంశాలు ఈ దిగువన క్రోడీకరిస్తున్నాను.

1. మన చుట్టూ ఉన్న పర్యావరణం వికీర్ణంతో నిండి ఉంది. ఇది చాలామట్టుకు అపకారం చేసే రకం కాదు. నిప్పుతో ఎలా అప్రమత్తతతో ఉంటామో దీని తోటి అలాగే ఉంటే సరిపోతుంది.
2. ఎక్కువ అర్ధాయుస్సుతో ఉన్న వికీర్ణ ఉత్తేజిత పదార్థాలు తక్కువ హాని చేస్తాయి. మనం జాగ్రత్తగా ఉండవలసినది తక్కువ అర్ధాయుస్సు ఉన్న పదార్థాలు!
3. వికీర్ణ ఉత్తేజిత లక్షణాల దృష్ట్యా ప్రకృతి సిద్ధంగా దొరికే యురేనియం, థోరియం హానికరం కాదు. అయినప్పటికీ సీసం, కేడ్మియం, పాదరసం, వంటి సవాలక్ష విష పదార్థాలతో పాటు యురేనియంనీ, థోరియంనీ విష పదార్థాలుగా పరిగణించి ఇంటికి, ఒంటికి దూరంగా ఉంచాలి.
4. మేలు రకం యురేనియం, ప్లుటోనియంలు కూడా - బాంబులలోను, క్రియాకలశాలలోను వాడనంత సేపు - ప్రమాదకరమైన వికీర్ణ ఉత్తేజిత లక్షణాలని ప్రదర్శించవు.
5. హిరోషిమా, నాగసాకిల మీద పేలిన బాంబులు “నాటు రకం” నాసి బాంబులు. తరువాయి తరం బాంబులతో పోలిస్తే అవి చీదేసిన సిసింద్రీల లాంటివి. నేటి మేలు రకం బాంబులతో యుద్ధం అంటూ వస్తే సర్వనాశనం అయిపోతాం.
6. ఉన్నత శ్రేణి వికీర్ణ ఉత్తేజిత వ్యర్థాలు (high-level radioactive wastes) సహస్రాబ్దాలపాటు హాని చెయ్యకలవు కనుక వాటి యెడల మనం జాగ్రత్తగా ఉండాలి.

7. వికీర్ణం యొక్క "పొగరు" కాలక్రమేణా తగ్గిపోతుంది. కానీ మనం నిత్యం వాడే ప్లేస్టిక్ సంచులు శిధిలం అవకుండా పర్యావరణంలో 1000 సంవత్సరాలు ఉంటాయిట. మనం బేటరీలని నిర్లక్ష్యంగా పారేస్తే వాటిలోని కేడ్మియం మన నీటి వనరులకు చేసే హాని సహస్రాబ్దాల పాటు తగ్గు ముఖం పట్టకుండా మన వెంట సదా ఉంటుంది ట!
8. అణు శక్తితో విద్యుత్తుని ఉత్పాదించే కేంద్రాల కట్టడి ఎంత కట్టుదిట్టంగా ఉంటుందో తెలుసుకోవాలని కుతూహలం ఉంటే ఈ దిగువ లంకె వద్ద ఉన్న "విడియో" చూడండి: https://www.youtube.com/watch?v=yx_XoqXNtRM
9. రేడియేషన్ అంటే భయపడడం ఎంతవరకు సమంజసం?, ఈమాట, జనవరి 2022 https://eemaata.com/em/category/issues/202201

18. భౌతిక శాస్త్రంలో ప్రభంజనాలు: ఒక విహంగావలోకనం

ఇరవైయవ శతాబ్దం భౌతిక శాస్త్రానికి ఒక స్వర్ణయుగం అనవచ్చు. ఈ శతాబ్దపు పూర్వార్ధంలో మన చుట్టూ ఉన్న ప్రపంచం గురించి మనకున్న అవగాహనలో రెండు పెను విప్లవాలు వచ్చేయి. వీటిని భౌతిక శాస్త్రంలో వచ్చిన అభిజ్ఞాత ఉత్పాతాలు (cognitive cataclysms) అనవచ్చు. వీటిలో మొదటిది ఆయిన్^స్టయిన్ ప్రతిపాదించిన సాపేక్ష వాదాలు: ప్రత్యేక సాపేక్ష వాదం (Special Theory of Relativity), సాధారణ సాపేక్ష వాదం (General Theory of Relativity). వీటిలో రెండవది ఎందరో ప్రతిభావంతులు కలిసి సాయం పట్టి నిర్మించిన గుళిక వాదం (Quantum Theory) అనే రమ్యమైన హర్మ్యం! మన దైనందిన జీవితాన్ని గుళిక వాదం స్పృజించినంత లోతుగా సాపేక్ష వాదం చేసి ఉండకపోవచ్చు కానీ ఈ రెండూ విశ్వ సృష్టి యెడల మనకున్న అవగాహనతోపాటు మన దృక్పథాన్ని కూడా పరిపూర్ణంగా మార్చివేసాయనడంలో సందేహం లేదు. శాఖోపశాఖలుగా విస్తరించిన భౌతికశాస్త్రంలో- ఇరవైయవ శతాబ్దంలో- వచ్చిన ఈ మార్పులోని ప్రధాన అంశాలని, ప్రధాన పాత్రధారులని ఒక నఖచిత్రంలా సందర్శించడమే ఈ వ్యాసం యొక్క లక్ష్యం.

1. సాపేక్షవాదం (Theory of Relativity)

భౌతిక శాస్త్రంలో శతాబ్దాలపాటు పాతుకుపోయిన నమ్మకాలని వమ్ము చేస్తూ లేచిన ఈ సాపేక్ష వాదం అనే సిద్ధాంత సౌధం మీద ఎందరో మహానుభావులు ఎన్నెన్నో వ్యాఖ్యానాలు చేసేరు, భాష్యాలు చెప్పేరు ఈ సౌధాన్ని కూలదోయడానికి ఇంతవరకు జరిగిన ప్రయత్నాలు, ఇంకా జరుగుతూన్న ప్రయత్నాలని బట్టి ఈ దృక్కోణం మనని ఎంత ప్రభావితం చేస్తోందో అర్థం అవుతుంది. న్యూటన్ (Isaac Newton, 1642-1727) రోజుల నుండి వేళ్లూనుకుని, పాతుకుపోయిన స్థలం (space), కాలం (time), పదార్థం (matter), గరిమ (mass) మొదలైన మౌలికమైన భావాలలో మన దృక్పథం మారాలని సాపేక్షవాదం ప్రతిపాదించింది. పర్యవసానంగా, స్థలం గురించి కానీ, కాలం గురించి కానీ, గ్రాహ్యంలోకి వచ్చే అనుభవాలు పరిశీలకుడి (observer) స్థితి మీద, పరిశీలకుడి కదలిక మీద ఆధారపడి ఉంటాయనే సాపేక్ష భావం మొదటిది. పదార్థం యొక్క గరిమ, ఆ పదార్థంలో ఇమిడి ఉన్న శక్తి అవినాభావంగా $E = mc^2$ అనే సమీకరణం ద్వారా ముడిపడి ఉన్నాయనేది రెండవ అంశం. ఉదాహరణకి హెన్రి బెక్వెరల్ (Henri Becquerel, 1852-1908), మరీ క్యూరీ (Marie Curie, 1867-1934), పియేర్ క్యూరీ (Pierre Curie, 1859-1906) లు అధ్యయనం చేసిన "రేడియో ధార్మిక" పదార్థాలు (పోలోనియం, యురేనియం, ప్లుటోనియం, రేడియం) వికిరణం (radiation) అనే ప్రక్రియ ద్వారా శక్తిని అవిరామంగా విడుదల చేస్తున్నా వాటి గరిమలో చెప్పుకోదగ్గంత మార్పు

కనబడకపోవడానికి కారణం ఏమిటా అన్న ప్రశ్నకి పై సమీకరణం సమాధానం చెప్పగలిగింది కానీ నూటనిక యంత్రశాస్త్రం (Newtonian mechanics) చెప్పలేకపోయింది.

తరువాత సాధారణ సాపేక్ష వాదం వచ్చి స్థలం, కాలం వేర్వేరు అంశాలు కాదు, రెండింటిని కలిపి ఒక చతుర్మితీయ స్థల-కాల సమవాయం (four-dimensional space-time continuum) గా ఊహించుకుంటే గరిమ గల పదార్థం ఆ సమవాయం మీద వ్యవస్థితమైనప్పుడు ఆ సమవాయం మీద లొత్త పడుతుందనిన్నీ (లాగి పట్టుకున్న రబ్బరు జంబుఖానా మీద ఇనప బంతిని పెట్టినప్పుడు జంబుఖానా మీద లొత్త పడ్డ మాదిరిగానే), పదార్థం గరిమ పెరిగినకొద్దీ ఆ లొత్త లోతు ఎక్కువ అవుతుందనిన్నీ ఒక నమూనా ప్రతిపాదించింది. ఇప్పుడు ఆ సమవాయం మీదకి గోళీ వంటి చిన్న రేణువుని వదిలితే అది లొత్త పడ్డ ప్రాంతంలో "తిన్నగా" (అనగా, ఒక సరళరేఖ వెంబడి) ప్రయాణం చెయ్యలేదు; అది లొత్తలో పడి చుట్లు తిరుగుతుంది. సూర్యుడి చుట్టూ భూమి తిరగడం, భూమి చుట్టూ చంద్రుడు తిరగడం ఇలాంటి ప్రక్రియలే కానీ ఏదీ దేనినీ "దూరం నుండి ఆకర్షించడం" (action at a distance) లేదు అని చెబుతుంది సాపేక్షవాదం. ఇక్కడ గమనించదగ్గ అంశం ఏమిటంటే ఏ పదార్థమూ లేనప్పుడు ఈ స్థలకాల సమవాయం చదునుగానే ఉంటుంది, పదార్థం ఉన్నప్పుడు లొత్త పడుతుంది; ఆ పదార్థం గరిమ ఎక్కువయినకొద్దీ ఆ లొత్త లోతుగా పడుతుంది. అనగా మన స్థలకాల సమవాయానికి "వంపు" లేదా "వక్రతనం" ఉంటుంది. దాని ఆకారం నిలకడగా ఉండకుండా పరిస్థితులతో మార్పుకి లోనవుతూ ఉంటుంది. ఈ వాదం ఉపయోగించి బుధ గ్రహం యొక్క పరిహేలి (రవిసమీపబిందువు, perihelion) యొక్క వింత ప్రవర్తనకి తర్కబద్ధమైన భాష్యం చెప్పడంతో అయిన్‌స్టయిన్ వాదనని సర్వులు అంగీకరించక తప్పలేదు. అయిన్‌స్టయిన్ ఇంతటితో ఊరుకోలేదు. తాను ప్రతిపాదిస్తున్న ఊహలు ఒక్క సూర్య మండలానికి పరిమితం కాదు, విశ్వవ్యాప్తంగా పనిచేస్తాయని ఉద్ఘాటించి 1917 లో విశ్వోద్భవ శాస్త్రం (cosmology) అనే కొత్త శాస్త్రానికి ఆయువు పోసాడు. తరువాత అయిన్‌స్టయిన్ ప్రతిపాదించిన ఊహలలో (ఉదా. విశ్వం ఏ మార్పులు లేకుండా ఎల్లప్పుడూ స్థిరంగా ఉంటుంది) కొన్ని సవరింపులు రాకపోలేదు, కానీ మౌలికంగా అయిన్‌స్టయిన్ ఊహలు విశ్వోద్భవ శాస్త్రానికి ఒక దిశానిర్దేశం చేసేయనేది నిర్వివాదం.

ఆయిన్^స్టయిన్ (Einstein, 1875-1955) ప్రతిభ భౌతిక శాస్త్రంలో. కనుక అయన ప్రతిపాదించిన గణిత సమీకరణాలని పరిష్కరించడానికి ఆయనికి భౌతిక ప్రపంచంతో ఉన్న సూక్ష్మేక్షిక (insight) ఆలంబనగా వాడుకున్నాడు. కానీ గణిత శాస్త్రంలో విశేషమైన ప్రతిభ ఉన్న కొందరు అయిన్‌స్టయిన్ ప్రతిపాదించిన గణిత సమీకరణాలని సరికొత్త దృక్పథంతో పరిశీలించి కొత్త పరిష్కారాలు ప్రతిపాదించారు. అలెగ్జాండర్ ఫ్రీడ్మన్ (Alexander Friedman, 1888-1925), హవర్డ్ రాబర్ట్సన్ (Howard Robertson, 1903-1961), ఆర్థర్ వాకర్ (Arthur Walker, 1909 - 2001) సాధించిన

గణిత పరిష్కారాల ప్రకారం ఈ విశ్వం విస్తరిస్తూ ఉండాలి తప్ప ఎల్లప్పుడూ స్థిరంగా ఉండానికి వీలు లేదు! ఆ మాటకొస్తే బెల్జియం దేశస్థుడు, కేథలిక్ మతాచార్యుడు అయిన జార్జి లిమైటర్ (Georges Lemaitre, 1894-1966) కూడా కేవలం భౌతిక అంశాల తోడ్పాటుతో విశ్వ విస్తరణ వాదాన్ని ప్రతిపాదించి ఉన్నాడు. ఇది విశ్వ విస్తరణ వాదానికి నాంది.

ఈ ఊహలు, ప్రతిపాదనలు, వాదాలు, వగైరాలు అన్నీ కేవలం సైద్ధాంతిక వాదాలేనా? లేక, నిజంగా విశ్వ విస్తరణ జరుగుతోందా లేదా అన్న విషయం నిర్ణయించడం ఎలా? ఈ సందిగ్ధావస్థ నుండి బల్ల గుద్ది బయట పడేసిన ఘనత ఎడ్విన్ హబుల్ (Edwin Hubble, 1889-1953) అనే అమెరికా శాస్త్రవేత్తకి దక్కుతుంది. ఈ ఘనకార్యం చెయ్యడానికి ఆయనకి రెండు దిశలనుండి సహాయం లభించింది. ఒకటి, కేలిఫోర్నియాలోని విల్సన్ శిఖరం మీద కొత్తగా నిర్మించిన వేధశాలలోని అతి పెద్ద దుర్భిణి. రెండు, విశ్వంలో క్షీరసాగరాల మధ్య దూరాలు కొలవడానికి సెఫియాడ్ (cepheid) అనే కొత్త రకం నక్షత్రాలని ఎలా ఉపయోగించవచ్చో కనిపెట్టిన హెన్రియాటా లియావిత్ (Henrietta Leavitt, 1868 –1921) అనే వనిత. ఈ పనిముట్ల సహాయంతో మనం ఉండే పాలపుంత క్షీరసాగరం (Milky Way galaxy) తో పాటు ఈ విశ్వంలో లక్షలాది ఇతర క్షీరసాగరాలు ఉన్నాయనిన్నీ, అవి అన్నీ ఒకదానినుండి మరొకటి దూరంగా జరిగిపోతున్నాయనిన్నీ రుజువు చేసి చూపించేడు, హబుల్. అనగా, ఈ విశ్వం అయిన్‌స్టయిన్ ప్రతిపాదన అనుకుంటున్నట్లు స్థిరంగా, నిశ్చలంగా లేదు; నిరంతరం అలా వ్యాప్తి చెందుతోంది!

ఇక్కడ కుండలీకరణాలలో ఒక వ్యాఖ్య చెయ్యాలి. మొదట్లో, ఆయిన్^స్టయిన్ తన నమూనాని తయారు చేసిన కొత్త రోజులలో, తన నమూనాని అనేక కోణాలనుండి విశ్లేషించి చూస్తూ ఉంటే ఆ నమూనా ప్రకారం మన విశ్వం నిరంతరం వ్యాప్తి చెందుతూ ఉండాలని గణితం గొంతెత్తి చెప్పింది. కానీ ఆ రోజులలో విశ్వం అంటే కేవలం మన పాలపుంత క్షీరసాగరం మాత్రమే! అది కైవారంలో పెరిగిపోతున్నట్లు ఎవ్వరూ గమనించలేదు. కనుక తన గణితం గొంతెత్తి చెబుతున్నా అయిన్‌స్టయిన్ నమ్మలేదు. అందుకని అయన తన గణిత సమీకరణాలని “కాసింత కిట్టించి” - అనగా సమీకరణాలలో ఒక స్థిరాంకం (cosmological constant) ప్రవేశపెట్టి - కొట్టొచ్చినట్లు కనబడుతున్న పెరుగుదలని ఆపుచేసేడు. విశ్వం వ్యాప్తి చెందుతోంది అని హబుల్ ప్రత్యక్ష ప్రమాణం చూపించేసరికి అయిన్‌స్టయిన్ తన తప్పుని తెలుసుకుని విచారించేడు.

“విశ్వం వ్యాప్తి చెందుతోంది” అని చెప్పడం ఒక ఎత్తు అయితే “ఈ విస్తరణ ఎప్పుడు, ఎలా మొదలయింది?” అన్న ప్రశ్న పుడుతుంది కదా. ఇక్కడ కథ టూకీగా చెప్పి ముందుకు కదులుతాను. ఎప్పుడో 13.8 బిలియను (బిలియను = 1,000 మిలియన్లు = 1,000,000,000) సంవత్సరాల క్రితం

బిందు ప్రమాణంలో ఉన్న విశ్వం అకస్మాత్తుగా, తటాలున పేలిపోయి, వ్యాప్తి చెందుతున్నాదన్న వాదం ప్రస్తుతం చెలామణిలో ఉంది? ఇంతకీ ఏమిటి ఈ బృహత్ విస్పోటనం? విస్పోటనం అంటే పేలుడు కనుక ఏదో ఎక్కడో, ఎప్పుడో పేలిందని మనం అంతా ఒప్పేసుకుందాం. పేలడం అంటే అకస్మాత్తుగా, ఊహకి అందని రీతిలో, “”అది శక్తి” నుండి పదార్ధ రేణువులు (matter particles), వికిరణ రేణువులు (radiation particles) తంబతంబలుగా పుట్టుకొచ్చేయి. మొదట్లో ఈ అది శక్తి నుండి పదార్థం (matter), ప్రతిపదార్థం (antimatter) దరిదాపు సమపాళ్లలో పుట్టి ఉండాలి. మచ్చుకి, బిలియన్ ప్రతిపదార్ధ రేణువులకి “బిలియన్ మీద ఒక్క” పదార్ధ రేణువు పుట్టి ఉండొచ్చు. పదార్థం, ప్రతిపదార్థం పరస్పరం రూపుమాపుకొనడంతో బిలియను రేణువులలో ఒకే ఒక్క పదార్ధ రేణువు చొప్పున మిగిలి ఉంటుంది. ఆ సమయంలో అలా మిగిలిన పదార్థం సాంద్రత (density), వికిరణం సాంద్రత, తాపోగ్రత (temperature), మన ఊహకి అందనంత ఎక్కువగా ఉండేవన్నమాట. ఈ విస్పోటనంతో విశ్వం వ్యాప్తి చెందగా చెందగా, తాపగతిశాస్త్రం (thermodynamics) యొక్క నియమాల ప్రకారం పరిస్థితి కొంత కుదుట పడగా, ప్రస్తుతం మనం చూస్తూ ఉన్న క్షీరసాగరాలు, నక్షత్రాలు, వగైరాలు పుట్టుకొచ్చేయని ఈ వాదం చెబుతోంది. ఇదే విధంగా సాధారణ సాపేక్ష వాదం చెప్పిన రీతిలో వ్యాపిస్తూన్న విశ్వం యొక్క “వక్రత” (curvature) క్రమేపీ తగ్గి ప్రస్తుతం దరిదాపు బల్లపరుపుగా ఉన్న స్థితికి వచ్చింది. ఈ ధోరణిలో విశ్వం వ్యాప్తి చెందుతూ పోతే ఉత్తరోత్తర్యా విశ్వం చప్పగా చల్లారిపోయి, క్షీరసాగరాలన్నీ పూర్తిగా చెల్లాచెదురు అయిపోయి, విశ్వం దరిదాపు ఖాళీ అయిపోతుంది. అప్పుడు అవశేషంగా మిగిలిపోయిన వక్రత కూడా నశించిపోయి, స్థలకాలం (spacetime) అప్పడంలా తయారవుతుంది.

ఇదే తర్కం ఉపయోగించి కాల గమనాన్ని వెనక్కి తిప్పి మొదట్లో విశ్వం ఎలా ఉండేదో ఊహించుకోవచ్చు. కాలంలో వెనక్కి వెళితే అప్పుడు విశ్వం ఇప్పటి కంటె చిన్నది గానూ, ఎక్కువ “వక్రత” తోనూ, సాంద్రంగానూ, వేడిగానూ ఉండేదని ఊహించుకోవటం అంత కష్టం కాదు. ఇంకా వెనక్కి వెళితే సూక్ష్మాతిసూక్ష్మ ప్రమాణంలో, అనంతమైన వేడి, అనంతమైన వక్రత, అనంతమైన సాంద్రతతో ఉండేదన్న మాట. ఈ పరిస్థితిని గణిత పరిభాషలో “విశిష్టస్థితి” (singularity) అంటారు. ఇక్కడే కాలగమనం కూడ మొదలయిందని మనం అనుకుని, t = 0 అని రాస్తాం. విశ్వం యొక్క మహా ప్రస్థానానికి ఈ సమయంలో జరిగిన బృహత్ విస్పోటనం ఒక మహాజననం అన్న మాట!

ఆయిన్^స్టయిన్ ప్రవచించిన సాధారణ సాపేక్ష సిద్ధాంతాన్ని వర్ణించే గణిత సమీకరణాలు పైన సూచించిన t = 0 అనే బిందువుని చేరుకునే వరకు పని చేస్తాయి కాని ఆ బిందువు దగ్గర - అంటే, ఆ విశిష్ఠస్థానంలో - పని చెయ్యవు. అక్కడ అంతా అనంతమే. ఈ అనంతమైన అవధిని దాటి "అవతలకి" వెళితే కాని బృహత్ విస్పోటనం “జరగక ముందు” ఏముండేదో తెలియదు.

విస్ఫోటనంతోటే కాల గమనం ప్రారంభం అయింది కనుక పై వాక్యంలో “జరగక ముందు” అనే పదబంధానికి అర్థం లేదు!

దీనినే బ్రహ్మాండ విచ్ఛిన్న వాదం లేదా బృహత్ విస్ఫోటన వాదం (The Big Bang Theory) అంటారు. దీనిని, ప్రామాణిక విశ్వ ప్రాదుర్భావ నమూనా (Standard Cosmological Model) అని కూడా అందాం. ఈ వాదం పరిపూర్ణంగా సంతృప్తిని ఇవ్వకపోయినా దీనితో పోటీపడే ప్రత్యామ్నాయ వాదాలన్నీ వీగిపోయాయి కాబట్టి మనం చేయగలిగేది ఏమీ లేక ఈ వాదాన్ని పట్టుకుని వేళ్ళాడుతున్నాం. భవిష్యత్తు ఎలా ఉంటుందో! ఒక్క మనవి. విశ్వ వ్యాప్తికి బ్రహ్మాండ విచ్ఛిన్నం కారణం కావచ్చు, కాకపోవచ్చు. ఈ సంగతిని తరువాత సందర్శించి తీరికగా పరిశీలిద్దాం.

2. గుళిక వాదం (Quantum Theory)

“ఫలానా విప్లవం ఎప్పుడు, ఏ సంఘటనతో మొదలయింది?” అని అడిగితే కొన్ని సందర్భాలలో సమాధానం నిర్ద్వందంగా చెప్పవచ్చు. “భౌతిక శాస్త్రంలో గుళిక విప్లవం ఎప్పుడు మొదలయింది?” అని అడిగితే సా. శ. 1900 లో అని నిర్మొహమాటంగా చెప్పవచ్చు. ఆ రోజులలో భౌతిక శాస్త్రంలో - ప్రత్యేకించి ఉష్ణగతిశాస్త్రం (thermodynamics) లో - అత్యూద వినిపాతం (ultraviolet catastrophe) అనే కొరకబడని సమస్య ఎదురయింది. ఈ సమస్యని మేక్స్ ప్లేంక్ అనే వ్యక్తి 1900 లో పరిష్కరించి ఒక దిశానిర్దేశం చేసేరు. ఈయన ప్రవేశపెట్టిన కీలకమైన ఊహ ఏమిటంటే ఉష్ణ శక్తి నదీప్రవాహంలా - ధారాపాతంలా - ఉండదు, చిన్న చిన్న నీటిబొట్ల ప్రవాహంలా (హోమియోపతి మాత్రల ప్రవాహంలా ఉహించుకోండి) ఉంటుంది అన్నారు. ఈ బొట్లనే, ఈ మాత్రలనే, శాస్త్రీయ పరిభాషలో గుళికలు (ఇంగ్లీషు బహువచనంలో quanta, ఏకవచనంలో quantum) అంటారు. ఈ గుళికలు ఎంత చిన్నగా ఉంటాయిట? ఈ ప్రశ్నకి సమాధానంగా, ఒకొక్క గుళికలో ఉన్న శక్తి E ఎంతో చెప్పడానికి, అయన E = hf అనే చిన్న సమీకరణాన్ని ఇచ్చేరు. ఇక్కడ f అనే అక్షరం వేడి చేసిన వస్తువు ఏ రంగులో ఉందో చెబుతుంది, h అనే “ప్లేంక్ స్థిరాంకం” విలువ అత్యల్పం. (ఉదా. $h = 6.6260701\, x\, 10^{-34}$ జూల్ సెకండ్లు, అనగా 6.62607015 ని లవంలో వేసి దిగువ హారంలో 1 తరువాత 34 సున్నలు చుట్టి భాగించగా వచ్చినంత! జూల్ సెకండ్లు అనేది మనం ఉపయోగించిన కొలమానం.) కనుక ఈ గుళికలు అత్యంత సూక్ష్మమైనవి. అనగా, వేడి ఒక ధారలా ప్రవహించదు, అతి సుక్ష్మమైన బొట్లు బొట్లుగా ప్రవహిస్తుంది అనుకుంటూ మన దృక్పథంలో ఈ చిన్న మార్పు చేసేసరికి ప్రయోగానికి, వాదానికి మధ్య పొంతన కుదురుతోంది.

ఇలా ఒక సందర్భంలో ఈ గుళిక అనే ఊహ దిగ్విజయం సాధించేసరికి ప్రయోగానికి వాదానికి పొంతన కుదరని అనేక ఇతర సందర్భాలలో ఇదే మంత్రం ఉపయోగించడం మొదలు పెట్టేరు. ఈ కొత్త దిశలో మరొక అడుగు వేసిన వ్యక్తి ఆయిన్^స్టయిన్. ఈయన “కాంతి రూపంలో ఉన్న శక్తిని కూడా గుళికీకరించాలి” (అనగా, శక్తి ఒక్క ఉష్ణ రూపంలో ఉన్నప్పుడే కాదు) అని అంటూ తేజోవిద్యుత్ ప్రభావం (photoelectric effect) అనే ప్రక్రియకి భాష్యం చెప్పేరు. అనగా వేడి గుళికల రూపంలో ప్రసరించినట్లే కాంతి - లేదా విద్యుదయస్కాంత వికిరణం - గుళికల రూపంలో ప్రసరిస్తుంది. ఇలాంటి కాంతి గుళికలనే మనం తేజాణువులు (photons) అంటాం. ఈ తేజాణువులలో ఉండే శక్తిని కూడా E = hf సమీకరణం తోటే వర్ణించవచ్చు. ఇక్కడ f అనేది ఆ తేజాణువు యొక్క రంగు (లేదా, ఆ రంగుతో ఉన్న కాంతి తరంగం యొక్క తరచుదనం, frequency). ఈ సందర్భంలోనే కాంతి తరంగమా, రేణువా అనే సందిగ్ధత సహజంగా వస్తుంది.

ఇలా భౌతికశాస్త్రం పాతిక సంవత్సరాలపాటు ఎన్నో తికమకలు పడి అప్పటివరకు పరిష్కారం లేకుండా మిగిలిపోయిన ఎన్నో అంశాలని పరిష్కరించుకుంటూ వచ్చింది. గ్రంథ విస్తరణ భీతి వల్ల ఈ విప్లవంలో పాల్గొన్న యోధుల పేర్లన్నీ ఇక్కడ ఉటంకించడం సాధ్యపడదు. చిట్టచివరికి చెదురుమదురుగా ఉన్న ఫలితాలన్నిటికి గణిత పరంగా పునాదులు వేసి ఒక సౌధం నిర్మించిన ఘనత వెర్నర్ హైజెన్బర్గ్ (Werner Heisenberg, 1901-1976), అనే జెర్మన్ శాస్త్రవేత్తకి, ఎర్విన్ ష్రోడింగర్ (Erwin Schroedinger, 1887-1961) అనే ఆస్ట్రియా శాస్త్రవేత్తకి దక్కుతుంది.

అప్పటికే మన ఇంగిత జ్ఞానానికి అందకుండా పోతున్న సాపేక్ష వాదాన్ని జీర్ణం చేసుకోలేక శాస్త్రీయ లోకం తికమకలు పడుతోంది. పులి మీద పుట్రలా గుళిక వాదం వచ్చి పడింది. ష్రోడింగర్ ప్రతిపాదించిన నమూనాలో “తరంగ ప్రమేయం” (wave function) అనే భావం కీలకమైనది. అణుప్రమాణంలో ఉన్న ఒక సూక్ష్మ రేణువు యొక్క “స్థితి” (state) ని గణిత భాషలో సమగ్రంగా వర్ణించి చెబుతుంది “తరంగ ప్రమేయం.” ఉదాహరణకి, “ఫలానా వేళప్పుడు ఒక రేణువు (ఉదా. ఎలక్ట్రాను) ఎక్కడ ఉంది?” అని అడిగితే ఈ తరంగ ప్రమేయం ఉపయోగించి “ఫలానా చోట ఉండటానికి సంభావ్యత ఇంత” అని సమాధానం చెప్పడానికి వెసులుబాటు ఉంది. ఇదే ఫలితాన్ని హైజెన్బర్గ్ ప్రతిపాదించిన నమూనాతో కూడా సాధించవచ్చు కానీ, హైజెన్బర్గ్ “అనిర్ధారిత సూత్రం” అనే మరొక కీలకమైన అంశాన్ని ఆవిష్కరణ చేసి పేరు తెచ్చుకున్నాడు.

అనిర్ధారిత సూత్రం (Uncertainty Principle) అనేది అణు ప్రపంచానికి సంబంధించిన సూత్రం. స్థూల ప్రపంచం కనబడినంత స్ఫుటంగా సూక్ష్మ ప్రపంచం కనబడదు, స్పష్టత లేదు. ఈ అస్పష్టతని ఒక గణిత అసమీకరణం (inequality) లో బంధించి చూపిస్తుంది హైజెన్బర్గ్ ప్రవచించిన అనిర్ధారిత

సూత్రం. ఈ సూత్రం గుళిక వాదానికి ఆయువుపట్టు! హైజన్బర్గ్ ప్రవచించిన అనిర్ధారిత సూత్రం ఎంత మౌలికమో అంత అనుభావాతీతం. దీని సారాంశం ఏమిటంటే ఎలక్ట్రాను వంటి చిన్ని రేణువు ఎక్కడుందో తెలిస్తే దాని వేగం నిర్ధారించలేము, దాని వేగం తెలిస్తే ఎక్కడుందో నిర్ధారించలేము. ఈ రెండింటిని ఒకే సారి నిర్ధారించి కొలవడం అసాధ్యం! కష్టం కాదు; అసాధ్యం! ఇది ప్రకృతి లక్షణమే కానీ మన అసమర్ధతకి సూచిక కాదు. అనగా, మనం ఎంత తెలివైనవాళ్ళం అయినా, ఎంత స్ఫూర్తివంతులమైనా ప్రకృతి విధించిన ఈ ఆంక్షని జవదాటలేము. దీని అర్థం ఏమిటంటే మన నమూనాలు ఏమిటి చెబితే అది నమ్మడమే కానీ ప్రకృతి నిజానికి “ఇదమిత్థంగా ఇలా ఉంటుంది” అని నిర్ధారించి చెప్పలేము. మన నమూనాలు మాత్రం నిర్ధారించి చెబుతున్నాయా? లేదే. అవి కూడా సంభావ్యతా భాషలో చెబుతున్నాయి. ఇలా “అసంతృప్తికరంగా” ఉన్నప్పటికీ గుళిక వాదం ఉపయోగించి ట్రాన్సిస్టర్లు, లేసర్లు వంటి ఉపకారణాలెన్నో నిర్మించి ఆ ఫలితాలని అనుభవిస్తున్నాము కనుక గుళిక వాదం విజయవంతం అయిందనే ఒప్పుకోవాలి. .

ఇలా భౌతికశాస్త్రం రెండు సమాంతర పట్టాల మీద పయనం చేస్తూ అనేక చీలికలతో ముందుకు సాగుతోంది.
ఒకదానితో మరొకటి పెనవేసుకున్న ఈ చీలికలని ఇప్పుడు టూకీగా పరిశీలిద్దాం.

3. గురుత్వాకర్షక ప్రపంచం

3.1 విశ్వవ్యాప్త సూక్ష్మతరంగ నేపథ్య వికిరణం (Cosmic Microwave Background Radiation)

విశ్వం యొక్క ఆవిర్భావం ఒక బృహత్ విస్ఫోటనంతో మొదలయిందనే ప్రతిపాదన మొదట్లో అందరికీ అమోదయోగ్యం కాలేదు. ఉదాహరణకి, ఫ్రెడ్ హోయల్ (Fred Hoyle, 1915-2001), హెర్మన్ బాండీ (Hermann Bondi, 1919-2005), థామస్ గోల్డ్ (Thomas Gold, 1920-2004) 1948 లో ప్రచారంలోకి తీసుకొచ్చిన యథాస్థితి వాదం (Steady State Theory) ప్రకారం “ఈ విశ్వం ఎల్లప్పుడూ ఇప్పటిలాగానే ఉంది.” అనగా, విశ్వ విస్తరణ జరుగుతోంది కానీ బృహత్ విస్ఫోటనం అనే సంఘటన ఎప్పుడూ జరగలేదంటూ “Big Bang” అనే పదబంధాన్ని ఫ్రెడ్ హోయల్ వెటకారం చేస్తూ వాడేడు. అది కాస్తా అతుక్కుపోయింది. కానీ యథాస్థితి వాదం క్రమేపి వీగిపోడానికి కారణం రోజరోజకీ పెరుగుతున్న మన సాంకేతిక పరిజ్ఞానం ఇస్తున్న పరికరాల ద్వారా పోగవుతున్న ప్రత్యక్ష ప్రమాణాలు. ఆధునిక శాస్త్రీయ పరిశోధన జోడు గుర్రాల బండి లాంటిది; ఒక గుర్రం వాదాలు (theories) అయితే రెండవ గుర్రం ప్రయోగాలు (experiments). వాదం ఎంత అందంగా, తర్కబద్ధంగా ఉన్నా దానికి

దన్నుగా ప్రయోగ ప్రమాణం లేకపోతే ఆ వాదం వీగి పోతుంది. ప్రయోగాలు చెయ్యడానికి పరికరాలు కావాలి. సంఘం సాంకేతికంగా, సర్వతోముఖంగా అభివృద్ధి చెందితే కానీ ఈ పరికరాలు పుట్టుకురావు. ఇరవైయవ శతాబ్దపు ఉత్తరార్థంలో - రెండవ ప్రపంచ యుద్ధం ప్రేరణ కారణంగా - ఎన్నో కొత్త రకాల పరికరాలు పుట్టుకొచ్చేయి. కారల్ జాన్స్కి (Karl Jansky, 1905-1950) అనే ఎలక్ట్రికల్ ఇంజనీరు అమెరికాలో బెల్ టెలిఫోన్ ప్రయోగశాలలో పని చేసేవాడు. రేడియో ప్రసారాల్లో వినిపించే గరగర మని వినిపించే రొదకి కారణం ఏమిటో కనుక్కునే ప్రయత్నంలో ఉన్నాడతను. తన దగ్గర ఉన్న పసికమ్మి (antenna) ని ఆకాశంలో అన్ని దిక్కులకి తిప్పి, ఆ రొద మన పాలపుంత క్షీరసాగరం మధ్యలో ఎక్కడినుండో వస్తోందని తీర్మానించి, తదుపరి తాను చేయగలిగేది ఏమీ లేదనుకొని, ఆ ఫలితం ప్రచురించి తన దారిన తాను పోయాడు.

తరువాత ఆకాశంలో కంటికి కనిపించని నక్షత్రాల వంటి శాల్తీలని అధ్యయనం చెయ్యడానికి “రేడియో టెలిస్కోపు” అనే కొత్త రకం దుర్భిణులు వాడుకలోకి వచ్చేయి. కంటికి కనబడే ఏడు రంగుల కాంతి తరంగాల మీద ఆధారపడడానికి బదులు ఈ “రేడియో టెలిస్కోపు” కంటికి కనబడని “రేడియో తరంగాల” మీద ఆధారపడుతుంది. ఇంగ్లండ్ లో మార్టిన్ రైల్ (Martin Ryle, 1918-1984) అనే ఆసామి అమెరికాలో జాన్స్కి చేసిన పని గురించి చదివి, ఆకాశంలో రేడియో రొదల జనకస్థానాలు (sources) ఇంకా ఎక్కడెక్కడ ఉన్నాయో అని “రేడియో టెలిస్కోపు” ఉపయోగించి వెతకడం మొదలు పెట్టేడు. మొదట్లో ఇలాంటి రొద పుట్టించే జనకస్థానాలు 50 వరకు కనిపించేయి. వెతికిన కొద్దీ ఇంకా కనిపిస్తున్నాయి. ఇంకా వెతకగా హంస రాసి (Cygnus constellation) లో, పాలపుంతకి అవతల 500 కాంతి సంవత్సరాల (light years) దూరంలో, ఎంతో బలంగా ప్రకాశిస్తున్న “రేడియో నక్షత్రం” ఒకటి కనబడింది. హబుల్ చెబుతున్నది నిజమేనన్నమాట; విశ్వం యొక్క పరిధి మన పాలపుంతకి పరిమితం కాదన్నమాట! హోయల్ వాదాన్ని సమర్ధిద్దామని ఎంత ప్రయత్నించినా వీలు పడడం లేదని తీర్మానించి యథాస్థితి వాదం అనే శవపేటిక మీద మరో మేకు దిగగొట్టేడు.

ఇది ఇలా ఉండగా అమెరికాలో బెల్ టెలిఫోన్ కంపెనీవారి ప్రయోగశాలలో పని చేసే మరొక పరిశోధక జంట అర్నో పెంజాయాస్ (Arno Penzias, 1933 -), రాబర్ట్ విల్సన్ (Robert Wilson, 1936 -) అనే ఇద్దరు కృత్రిమ గ్రహాల సహాయంతో వార్తలు పంపడం మీద శృంగం ఆకారంలో ఉన్న పసికమ్మిని (horn shaped antenna) వాడి పరిశోధనలు చేస్తున్నారు. వారి పరిశోధనలో 7.4 సెంటీమీటర్ల పొడుగున్న రేడియో తరంగాల జనకస్థానం తాపోగ్రత 3.3 K ఉండడానికి బదులు 7.5 K అని నమోదు అవుతోంది. (ఇక్కడ K అనేది కెల్విన్ తాపోగ్రతకి వాడే కొలమానం. తరంగాల పొడుగు 0.03 సెంటీమీటర్ల నుండి 30 సెంటీమీటర్ల వరకు ఉంటే వాటిని సూక్ష్మ తరంగాలు, లేదా microwaves అంటారు.) పసికమ్మిని ఆకాశంలోకి ఏ దిశలోకి తిప్పి చూపినా ఈ తేడా కనిపిస్తోంది. ఈ తేడాకి

కారణం ఏద్దై ఉంటుందా అని వారు ఎంత శోధించినా అంతు చిక్కలేదు. ఈ తాపోగ్రతలో తేడాకి ఏదో నేపథ్య రొద కారణం అయి ఉండాలి అని ఊహించి, ఆ నేపథ్య రొద మన వాతావరణం నుండి కాదు, మన సూర్యుడు నుండి కాదు, మన పాలపుంత నుండి కాదు అనుకుంటూ "నేతి, నేతి" సూత్రం ఉపయోగించి, చివరికి ఇదేదో మన పాలపుంత క్షీరసాగరానికి వెలుపల నుండి వస్తున్న నేపథ్య రొద అయి ఉంటుందని ఊహించి ఆ విషయాన్ని పరిశోధనా పత్రంగా 1965 లో ప్రచురించేరు. ఈ నేపథ్య రొదనే విశ్వవ్యాప్త సూక్ష్మతరంగ నేపథ్య వికిరణం (Cosmic Microwave Background Radiation లేదా CMB radiation) అంటారు.

పక్క ఊళ్ళో, ప్రిన్స్^టన్ విశ్వవిద్యాలయంలో, పని చేస్తున్న జేమ్స్ పీబుల్స్ (James Peebles, 1935 -) అనే ఖగోళశాస్త్రవేత్త బ్రహ్మాండ విచ్ఛిన్నం వాదం మీద పరిశోధన చేస్తున్నాడు. ఎప్పుడో 13.8 బిలియను సంవత్సరాల క్రితం ఒక మహా పేలుడుతో ఈ విశ్వ ప్రాదుర్భావం జరిగి ఉండుంటే ఆ పేలుడు యొక్క "ప్రతి ధ్వని" (echo) ఇప్పటికీ వినిపిస్తూ ఉండాలని అతని అనుమానం. ఆ పేలుడు జరగబోయే ముందు ఆ "బ్రహ్మ పదార్థం" ఏదైతే ఉందో అది అత్యధిక తాపోగ్రతతో ఉండి ఉండాలి. పేలుడుతో వచ్చే వ్యాకోచానికి అది చల్లబడాలి. అది అలా చల్లారగా, చల్లారగా ప్రస్తుతానికి దాని తాపోగ్రత ఉరమరగా 2.7 K ఉండాలని అతను అంచనా వేసేడు. (ఇక్కడ K అనేది కెల్విన్ కొలమానాన్ని సూచిస్తుంది.) పీబుల్స్ సహాధ్యాయి రాబర్ట్ డికి (Robert Dicke, 1916-1997) ఈ అంచానని ప్రయోగాత్మకంగా కొలవడానికి సన్నాహాలు చేస్తున్నాడు. ఈ లోగా పెంజాయాస్-విల్సన్ జంట తాము కొలిచిన తాపోగ్రతని ప్రచురించి ఈ పోటీలో అనుకోకుండా నెగ్గేసేరు.

ఇక్కడ గమనించవలసిన విషయం ఏమిటంటే పెంజాయాస్-విల్సన్ లు ఒక పారిశ్రామిక సంస్థలో పని చేసే ఇంజనీర్లు. వీరికి అందుబాటులోఉన్న ఖరీదైన సాంకేతిక పరికరాలు విశ్వవిద్యాలయంలో పని చేసే ఆచార్యులకి అంత తేలికగా అందుబాటులోకి రావు.

3.2 క్వేజారులు, నాడీమూర్తులు (పల్సారులు)

ఇంగ్లండ్ లో, 1963 లో, సిరిల్ హేజర్డ్ (Cyril Hazard, ?) అనే ఖగోళ శాస్త్రవేత్త "రేడియో నక్షత్రాల" మీద పరిశోధనలు చేస్తూ 3C273 అనే శక్తిమంతమైన రేడియో కిరణాల ఉత్పత్తి స్థానాన్ని గుర్తించేడు. వెనువెంటనే, అమెరికాలో పేలొమార్ శిఖరం మీద ఉన్న దుర్భిణిని ఉపయోగించి మార్టిన్ ష్మిడ్ (Maarten Schmidt, 1929 -) 3C273 ని కంటితో కూడా చూడగలిగేడు. అప్పుడు దాని వర్ణమాల (spectrum) లోని గీతలు అన్నీ ఉండవలసిన చోటు నుండి ఎరువు వైపుకి బాగా జరిగి ఉండడం గమనించేడు. ఈ రకం "జరుగుడు"ని "డాప్లర్ విస్థాపనం;" (Doppler shift) అంటారు. దీని అర్థం

ఏమిటంటే ఆ నభోమూర్తి భూమి నుండి ఎంతో జోరుగా దూరంగా వెళ్ళిపోతోందన్నమాట. ఎంత జోరుగా? కాంతి వేగంలో పదహారో శాతం అంత జోరుగా! హబుల్ సూత్రం ప్రకారం ఎక్కువ జోరుగా ప్రయాణం చేస్తున్నట్లు మనకి కనిపిస్తున్న నభోమూర్తులు మనకి ఎక్కువ దూరంలో ఉండాలి కనుక ఈ నభోమూర్తి ఎంతో అనూహ్యమైన దూరంలో ఉండి ఉండాలి. అంత దూరంలో ఉన్నది మనకి కనబడుతున్నాదంటే అది ఎంతో దీప్తి (luminosity) తో ప్రకాశిస్తూ ఉండాలి. ఎంత దీప్తి ఉండాలి? లెక్క వేసి చూస్తే ఒక సాధారణమైన క్షీరసాగరం కంటె కనీసం 100 రెట్లు ఎక్కువ దీప్తితో ప్రకాశిస్తూ ఉండాలి. ఈ రకం నభోమూర్తులని ఇంగ్లీషులో క్వేజార్ (quasar or quasi stellar object) అని పిలవడం మొదలు పెట్టేరు. అనగా, నక్షత్రాలలా మనకి అనిపిస్తున్న భారీ నభోమూర్తులు (కానీ నక్షత్రాలు కావు). అంత దూరం నుండి బయలుదేరిన కాంతి మన దగ్గరకి చేరుకోడానికి మిలియన్ల సంవత్సరాలు పడుతుంది కనుక ఇప్పుడు మనం చూస్తున్న క్వేజార్లు మిలియన్ల సంవత్సరాల క్రితం ఎలా ఉండేవో మనకి తెలుస్తున్నది. అనగా ఈ విశ్వం వయస్సులో బాగా చిన్నగా ఉన్నపుడు ఎలా ఉండేదో తెలియాలంటే ఆ సమాచారం ఈ భారీ నభోమూర్తులని అధ్యయనం చేసి రాబట్టవచ్చు.

దరిమిలా ఇటువంటి క్వేజార్లు మిలియన్ల కొద్దీ కనబడ్డాయి. ఇవన్నీ కూడా మనకి ఎంతో దూరంలో ఉన్నాయి. ఉదాహరణకి TON 618 అనే క్వేజారు గురించి మాట్లాడుదాం. దాని గరిమ 66 బిలియను సూర్యుల గరిమతో సమానం ట! అది 140 ట్రిలియను (అనగా, 1000 బిలియన్లు) సూర్యులతో సమమైన తేజస్సుతో ప్రకాశిస్తున్నది ట. అక్కడ నుండి బయలు దేరిన కాంతి భూమిని చేరుకోడానికి 10.8 బిలియను సంవత్సరాలు పడుతుంది ట. విశ్వం వయస్సు 13.8 బిలియను సంవత్సరాలు అంటున్నారు కనుక విశ్వం కేవలం 3 బిలియను సంవత్సరాలు వయస్సులో ఉన్న తరుణంలో ఈ క్వేజారు నుండి బయలు దేరిన కాంతిని మనం ఇప్పుడు చూస్తున్నామన్నమాట! ఇది ఇంత తేజస్సుతో ప్రకాశించడానికి కారణం ఆ పరిసర ప్రాంతాలలో ఉన్న పదార్థం ఊహాతీతమైన వేగంతో ఈ క్వేజారులో పడిపోతోంది ట. ఇదే కొన్నాళ్ళు పోయిన తరువాత, పరిసర ప్రాంతాలలో ఉన్న పదార్థం పలచబడ్డ తరువాత, మనకి కనబడడం మానేసి కర్రి బిలం (black hole) గా మారిపోతుంది ట.

ఇది ఇలా ఉండగా ఏంటొనీ హ్యూయిష్ (Antony Hewish, 1924 -) దగ్గర పని చేస్తున్న విద్యార్థిని జోసలిన్ బెల్ (Jocelyn Bell, 1943 -) రేడియో కిరణాలు ప్రసారం చేస్తున్న క్వేజార్లని అధ్యయనం చేస్తూ ఉండగా వాటిలో కొన్నింటిలో ఒక విపరీతమైన పోకడని గుర్తించింది: కొన్ని క్వేజార్ల నుండి నాడి కొట్టుకుంటున్నంత క్రమబద్ధతతో ఒక స్పందన ప్రసారమవుతోంది. సహజసిద్ధమైన జనకస్థానాలనుండి అంత క్రమత్వంతో స్పందన వస్తోందంటే అక్కడ “ఎవ్వరో తెలివైన ఘటాలు” ఉండి బయట ప్రపంచానికి వారి ఉనికిని తెలియబరచడానికి వార్తలు పంపుతున్నారేమోనని ముందు అనుమానం పడ్డారు. నిలకడ మీద అదేదో సహజసిద్ధంగా జరుగుతున్న నాక్షత్ర భౌతిక (astrophysical) ప్రక్రియే

అని తీర్మానించి ఆ రకం నభోమూర్తులకి "పల్సార్" (Pulsar) అని పేరు పెట్టేరు. వీటినే మనం "నాడీమూర్తులు" అందాం. ఈ నాడీమూర్తుల గురించి సిద్ధాంత పరంగా భాష్యం చెప్పినవాడు థామస్ గోల్డ్; ఇతనే హోయల్ తో కలసి యథాస్థితి వాదం లేవదీసిన వ్యక్తి. రెండేసి క్షణాలకి ఒకసారి చొప్పున జరుగుతున్న నాడీ స్పందనలని ఆధారంగా చేసుకుని వాటి జనకస్థానం కైవారంలో చాల చిన్నదయి ఉండాలని లెక్క కట్టి చెప్పేడితను. ఇవి శ్వేత కుబ్జతారలు (white dwarfs) కాజాలవు; ఎందుకంటే శ్వేత కుబ్జతారలు పరిమాణంలో పెద్దవి కనుక అంత జోరుగా కంపనం (vibration) కానీ భ్రమణం (rotation) కానీ చూపలేవు. అవి మూడింతులు "నూట్రాను తారలు" (neutron stars) కావచ్చు; ఎందుకంటే నూట్రాను తారల వ్యాసం మహా ఉంటే 60 కిలోమీటర్లు ఉంటుంది, వీటి సాంద్రత అత్యధికంగా ఉంటుంది. అందువల్ల ఇక్కడ నాడీ స్పందన కంపనం వల్ల పుట్టినది కాదు, భ్రమణం వల్ల పుట్టినదే అని తీర్మానించేరు. అనగా ఈ "పల్సార్" అనే నాడీమూర్తులు గిర్రున తిరుగుతున్న నూట్రాను తారలు అన్నమాట. కొన్ని నక్షత్రాలు బృహన్నవ్యతార (supernova) దశకి చేరుకొని అకస్మాత్తుగా పేలిపోయినప్పుడు ఆ అవశేషంలో - సందర్భం కలిసొస్తే - నూట్రాను తారలు మిగలొచ్చు అని ఒక నమ్మకం ఉంది. కనుక గిర్రున తిరిగే నూట్రాను తారలే "పల్సార్లు" (లేదా, తెలుగులో నాడీమూర్తులు). ఇవి ఒక్క రేడియో తరంగాలనే కాకుండా ఎక్స్-కిరణాలని, గామా కిరణాలని, దృగ్గోచర కాంతిని కూడా ప్రసారం చేస్తాయని తెలిసింది. ఇటీవలి కాలంలో నాడీమూర్తులు వెలిగక్కే వికిరణానికి అనేక ఇతర కారణాలు ఉండొచ్చని సిద్ధాంతీకరిస్తున్నారు. ఉదాహరణకి ఒక నభోమూర్తి నుండి పదార్థం (matter) ఒలికి మరొక నభోమూర్తిలోనికి భారీ ఎత్తున ప్రవహించినప్పుడు కూడా ఈ రకం వికిరణం సాధ్యమే అంటున్నారు. ఇలా భారీ ఎత్తున పదార్థం ప్రవహించినప్పుడు అయిన్‌స్టయిన్ సాధారణ సాపేక్ష వాదం ప్రకారం ఆ ప్రవాహం స్థలకాలాన్ని కల్లోలపరచి గురుత్వ తరంగాలని (gravitational waves) ని పుట్టించి ప్రసారం చెయ్యాలి. (విద్యుత్ ఆవేశంతో కూడిన ఎలక్ట్రానులు ప్రవహించినప్పుడు విద్యుదయస్కాంత క్షేత్రంలో తరంగాలు పుట్టినట్లే అని ఉపమానం చెప్పుకోవచ్చు!)

3.3 గురుత్వ తరంగాలు (Gravitational waves)

గురుత్వ తరంగాలు పుట్టడం అనేది వాస్తవమే అని 1974-78 లో జరిగిన పరిశోధనలలో ఆధారం దొరికింది. ఉదాహరణకి PSR B1913+16 అనే ఒక నాడీమూర్తుల (binary pulsar) జంట - అమ్మాయిలు ఒప్పులగుప్ప ఆడుతున్నట్లు - ఒకదానితో మరొకటి పెనవేసుకుని, గిర్రున తిరుగుతున్నట్లు కనిపించడం, అవి క్రమేపి శక్తిని కోల్పోయి నెమ్మదిగా ఒకదానికొకటి దగ్గరగా జరుగుతున్నట్లు కనిపించడం, అవి దగ్గర అవుతున్నకొద్దీ అవి తిరిగే జోరు పెరగడం గమనించేరు. ఇంత భారీ శాల్తీలు ఇంత జోరుగా తిరగడంతో వాటిలోని శక్తిని గురుత్వ తరంగాల రూపంలో కోల్పోతున్నాయని ఒక వాదం

పుట్టింది. ఈ వాదంలో పస ఎంత ఉందో తేల్చాలంటే ప్రయోగాత్మకంగా వాటి ఉనికిని నిర్ధారించాలి. ఎంతో దూరంలో పుట్టి, ప్రయాణిస్తున్న గురుత్వ తరంగాలు భూమి దరిదాపుల్లోకి వచ్చేసరికి నీరసపడిపోయి మన పరికరాల స్పర్శకి అందటం లేదు. ఇటీవల అమెరికాలో నిర్మాణం పొందిన LIGO (Laser Interferometric Gravitational wave Observatories) సహాయంతో ఈ గురుత్వ తరంగాల ఉనికిని పసిగట్టాలని ఆశిస్తున్నారు. ఈ వ్యవస్థలో భాగంగా భారతదేశంలో కూడా ఒక LIGO వేధశాల నిర్మాణానికి చురుకుగా పనులు జరుగుతున్నాయి.

3.4 గురుత్వ కటకాలు (gravitational lenses), కృష్ణ పదార్థం (dark matter)

క్వేజారులుతో మరొక ప్రయోజనం ఉంది. ఇవి విరజిమ్మే వెలుగు మనకి చేరే లోగా మార్గమధ్యంలో పెద్ద క్షీరసాగరం అడ్డు పడితే దాని గురుత్వాకర్షణ ప్రభావం వల్ల ఆ కాంతి కిరణం వంగుతుంది. (ఇక్కడ వంగడానికి కారణం గురుత్వాకర్షణ ప్రభావం వల్ల వంపు తిరిగిన స్థలకాలం గుండా కాంతి కిరణం ప్రయాణం చెయ్యడం.) ఇలా వంగిన కాంతి కిరణం వంపుని కొలిస్తే అది అనుకున్నదానికంటే ఎక్కువగా ఉంది. దానికి కారణం అడ్డుపడ్డ క్షీరసాగరంలో అనుకున్న కంటే ఎక్కువ పదార్థం ఉండి ఉండాలని లెక్క వేసేరు. కానీ అది కనబడడం లేదు. కనబడని పదార్థం కనుక దానికి కృష్ణ పదార్థం (dark matter) అని పేరు పెట్టేరు. తీరికగా కూర్చుని లెక్క వేయగా ఇలా కంటికి ఆనకుండా విశ్వంలో ఉన్న పదార్థం కంటికి కనబడే నక్షత్రాలు, క్షీరసాగరాల కంటే ఎన్నో రెట్లు ఎక్కువ ఉండొచ్చని అంచనా వేస్తున్నారు.

ఇంతవరకు ఖగోళ భౌతిక శాస్త్రవేత్తలు బృహత్ విస్ఫోటనం (Big Bang), విశ్వవ్యాప్త సూక్ష్మతరంగ నేపథ్య వికిరణం (CMB radiation), క్వేజారులు (quasars), నాడీమూర్తులు (pulsars), గురుత్వ తరంగాలు (gravitational waves), గురుత్వ కటకాలు (gravitational lenses), సాధారణ సాపేక్ష వాదం (General Relativity) అనుకుంటూ కాలం వెళ్లబుచ్చే వారు. ఇప్పుడు అకస్మాత్తుగా కృష్ణ పదార్థం (dark matter), కృష్ణ శక్తి (dark energy), కర్రి బిలాలు (black holes) వంటి కొత్త అంశాలు, కొత్త సోకులు, కొత్త వైఖరులు వచ్చి పడ్డాయి. వీటి గురించి ఇప్పుడు విచారిద్దాం.

3.5 కర్రి బిలాలు (Black holes)

అయిన్‌స్టయిన్ తన సాధారణ సాపేక్షవాదాన్ని 1915 లో ఆవిష్కరించిన తరువాత ఈ వాదాన్ని రుజువు చెయ్యడానికి రెండు “ప్రయోగాలు” ఆధారం అయేయి. వీటిలో మొదటిది, నూటన్ సమీకరణాలతో లెక్క కట్టిన బుధగ్రహం కక్ష్యకి, నిజంగా ఆ గ్రహం ప్రయాణించే మార్గానికి మధ్య

కనబడ్డ స్వల్పమైన తేడాకి కారణం అయిన్‌స్టయిన్ వాదం చెప్పడం. రెండవది, దూరంలో ఉన్న ఒక నక్షత్రం నుండి బయలుదేరిన కాంతి సూర్యుని గురుత్వ క్షేత్రంలో అయిన్‌స్టయిన్ చెప్పినట్లే వంతుందని చూపడం. ఇలా చాల కాలంపాటు ప్రయోగాలు, పరిశోధనలు సూర్యమండలం పరిధి దాటి బయటకి వెళ్ళలేదు. దీనికి ఒక కారణం ఈ రకం ప్రయోగాలు చెయ్యడానికి పెద్ద ఎత్తున ప్రయత్నాలు చెయ్యాలి; అది డబ్బుతో కూడిన వ్యవహారం. మరొక కారణం సిద్ధాంత పరంగా దీనిలోని గణితం క్లిష్టతమం అవడం వల్ల దీని మీద పని చేసినవారు ఎక్కువగా గణితశాస్త్రవేత్తలు. వీరికి నిధులతో నిమిత్తం లేదు; కాగితం, కలం ఉంటే చాలు. ఈ పరిస్థితి 1960 దశకం పూర్తి ఆయేనాటికి మెరుగయింది. ఈ రోజులలో సాధారణ సాపేక్షవాదం యొక్క GPS (Global Positioning System) వంటి అనువర్తనాలు దారిన పోయే దానయ్య అనుభవ పరిధిలోకి వస్తున్నాయి. అదే విధంగా కర్రి బిలాలు (black holes) అనే విలక్షణమైన వైపరీత్యం నలుగురి నోటా నలుగుతూన్న పదబంధంగా ప్రచారంలోకి వచ్చేసింది.

కర్రి బిలం అంటే ఏమిటి? సాధారణ సాపేక్షవాదం దృష్ట్యా కర్రి బిలం దగ్గర స్థలకాలానికి ఒక ఏక్కైక "విశిష్టస్థితి" (singularity) వస్తుంది. ఈ "విశిష్టస్థితి"ని గణితపరంగా వర్ణించి చెప్పగలం కానీ మామూలు భాషలో చెప్పడం కష్టం. ఈ విశిష్టస్థితి దగ్గర స్థలకాలం నశించి పోతుంది. అనగా, ఈ విశిష్టస్థితి దగ్గర స్థలకాలం ఒక అఖాతంలోకి దిగిపోతుంది. కర్రి బిలం సమీపం లోకి వచ్చిన పదార్థం ఆ అగాథంలో పడిపోయి, మరి తిరిగి బయటకి రాలేదు. కర్రి బిలం సమీపం లోకి వచ్చిన కాంతి కిరణాలు కూడా ఆ అగాథంలో పడిపోతాయి; అందుకనే అది నల్లగా ఉంటుందని ఊహించి, వెటకారానికి ఒకరు దీనికి black hole అని పేరు పెట్టేరు. అది అతుక్కుపోయింది. (మొదట్లో, కోల్కతా లో బ్రిటిష్ వాళ్ళు నడిపిన ఒక జైలుని black hole అనే వారు. అంటే ఆ జైలులో పడ్డవాళ్ళు మరి తిరిగి బయటకి రారు అనే ఉద్దేశంతో. ఆ పదబంధం ఇంగ్లీషు భాషలో స్థిరపడిపోయింది!) నేను black body ని కర్రి కాయ అనిన్నీ, black hole ని కర్రి బిలం అనిన్నీ తెలుగులో అంటున్నాను.

ఈ కర్రి బిలాల మీద పరిశోధన మొదలు పెట్టినది భారతీయ సంతతికి చెందిన సుబ్రహ్మణ్య చంద్రశేఖర్ (S. Chandrasekhar, 1910-1995), రష్యాకి చెందిన లెవ్ లేండావ్ (Lev Landau, 1908-1968). వీరిరువురు నూటన్ వాదం ఉపయోగించి మన సూర్యుని వంటి నభోమూర్తుల పరిమాణం పెద్దదయే కొద్దీ ఎలా ప్రవర్తిస్తాయి అని లెక్కలు వేసేరు. వీరు చేసిన పని యొక్క ఫలితం ఏమిటంటే మన సూర్యుని గరిమ కంటె 1.5 రెట్లు ఎక్కువ గరిమ ఉన్న నక్షత్రాలు వాటి గరిమకే అవి తట్టుకోలేక కుప్పకూలిపోతాయి. అనగా, ఆయా నభోమూర్తులు వాటి గరిమ వల్ల ఉత్పన్నమయే గురుత్వాకర్షక బలాన్ని అధిగమించగల అంతర్గత బలాలని ఉత్పన్నం చెయ్యలేక పోవడం వల్ల ఆ గురుత్వాకర్షక బలాల ప్రభావానికి దాసులై కుప్పకూలిపోతాయి. ఇదే లెక్కని సాపేక్షవాదం ఉపయోగించి చేస్తే? ఈ ప్రశ్నకి సమాధానం రాబర్ట్ ఆపెన్^హైమర్ (R. Oppenheimer, 1904-1967)

ప్రభృతులు సమాధానం చెప్పేరు. వారి లెక్క ప్రకారం ఒక నక్షత్రం గరిమ సూర్యుని గరిమ కంటే 1.5 రెట్లు ఎక్కువ ఉంటే ఆ నక్షత్రం కుప్పకూలిపోయి, ఆ స్థానంలో ఒక "విశిష్టస్థితి" మిగులుతుంది. అనగా, ఆ నక్షత్రం ఒక బిందుప్రమాణంలోకి జారిపోయి, అక్కడ అనంతమైన సాంద్రతని ప్రదర్శిస్తుంది. చంద్రశేఖర్, లేండావ్ లు చేసిన పనిని, ఆపెన్^హైమర్ ప్రభృతులు చేసిన పనిని ఆ రోజుల్లో ఎవ్వరూ పట్టించుకోలేదు - క్వేజార్లు, పల్సారులు రంగంలోకి దిగేవరకు!

సా. శ. 1963 లో సోవియట్ యూనియన్ కి చెందిన యౌజెనీ లిఫ్^షిట్స్ (Evgenii M. Lifshitz, 1915-1985), ఐజాక్ ఖలాత్నికోవ్ (Isaak M. Khalatnikov, 1919 - 2021) స్థలకాలం లో కనబడే "విశిష్టస్థితి"లని లోతుగా అధ్యయనం చెయ్యడం మొదలు పెట్టేరు. ఇదే మార్గం అనుసరిస్తూ బ్రిటన్ లో రాజర్ పెన్రోజ్ (Roger Penrose, 1931 -), స్టీవెన్ హాకింగ్ (Stephen Hawking, 1942- 2018) ఉన్నత స్థాయి గణితం ఉపయోగించి స్థలకాలం లోని "విశిష్టస్థితి"ల లక్షణాలని వెలికి లాగడం మొదలు పెట్టేరు. ఇటుపైన "స్థలకాలం లోని విశిష్టస్థితులు" అని అనడానికి బదులు "కర్రి బిలాలు" (black holes) అనే పదబంధానిని వాడడం పరిపాటి అయిపోయింది.

ఇలా కర్రి బిలాల చరిత్ర చంద్రశేఖర్ తో మొదలయి పెన్రోజ్, హాకింగ్ తో పరిపక్వానికి వచ్చింది. చిట్టచివరికి జరిగిన తీర్మానం ఏమిటిట? కర్రి బిలాలు ఒక ప్రత్యేకమైన జాతికి చెందిన నక్షత్రాల అవశేషాలు. పుట్టుకతోటే అత్యధిక గరిమతో మొదలైన పెద్ద, పెద్ద నక్షతాలలోని ఇంధనం ఖర్చయిపోతున్న తరుణంలో అవి వాటి ఆత్మ గురుత్వాకర్షక శక్తుల ప్రభావానికి లొంగి, కృంగి, కుప్పకూలిపోతాయి. అలా కూలినప్పుడు ఏర్పడిన ఆ "గొయ్యి" కైవారం క్రమంగా తగ్గి ఒక కీలకమైన దశని చేరుకున్నప్పుడు ఆ బిలం అంచులలో ఉన్న పదార్థం ఆపడానికి వీలు లేనంత జోరుగా ఆ బిలంలో పడిపోతుంది. ఆఖరికి ఆ బిలం అంచులలో ఉన్న కాంతి కిరణాలు కూడా వెలుపలికి రాలేవు. అందుకనే ఆ బిలం నల్లగా ఉంటుందని అభివర్ణించబడింది.

మరి ఆ బిలంలో పడిపోయిన పదార్థం ఏమయినట్లు? ఆ పదార్థం తన "అస్తిత్వాన్ని" కోల్పోతుంది. సైన్సు ఇలాంటి వేదాంతపు సమాధానాల్ని అంగీకరించదు. దీనికి సరి అయిన సమాధానం కావాలంటే అత్యధిక సాంద్రతతో, అత్యధిక పీడనానికి లోనయినప్పుడు పదార్థపు ప్రవర్తన ఎలా ఉంటుందో తెలియాలి. ఆ పరిస్థితులలో పదార్థం అణురూపాన్ని వదలి పరమాణు రేణువుల సముద్రం వలె ఉంటుంది. ఈ పరిస్థితిని సమగ్రంగా అర్థం చేసుకోవాలంటే గుళిక వాదాన్ని ఆశ్రయించాలి. అనగా సాధారణ సాపేక్ష వాదాన్ని గుళికీకరించాలి. లేదా గుళికీకరణకి లొంగే సరికొత్త గురుత్వాకర్షక వాదాన్ని ప్రతిపాదించాలి. ఈ దిశలో హాకింగ్ చిరు ప్రయత్నం మొదలు పెట్టి తుదముట్టించకుండా కన్ను మూసేడు. అయన అనేది ఏమిటంటే కర్రి బిలంలో పడ్డ పదార్థం క్రమేపి

వికిరణం అనే ప్రక్రియ ద్వారా ఇగిరిపోతుంది. దీనినే హాకింగ్ వికిరణం అంటున్నారు. ఇలా ఒక కర్రి బిలం ఇగరడానికి (evaporate అవడానికి) 1 తరువాత 67 సున్నలు చుట్టినన్ని సంవత్సరాలు పడుతుందిట!! ఈ అంశం మీద ప్రస్తుతానికి స్పష్టత లేదు.

ఇంతకీ కర్రి బిలాలు కేవలం సిద్ధాంత స్వరూపాలా? నిజంగా ఉన్నాయా? ఇవి నల్లగా ఉంటే వీటిని చూడడం ఎలా? ఈ ప్రశ్నకి సమాధానం వెతకడం కోసం డిసెంబరు 1970 లో అమెరికా ప్రభుత్వం "ఉహూరు" అనే ఉపగ్రహాన్ని రోదసీలోకి పంపింది. దీని సహాయంతో మన పాలపుంత క్షీరసాగరంలో ఎక్స్-కిరణాల్ని ప్రసరిస్తున్న జనకస్థానాలు ఎన్నింటినో కనుక్కున్నారు. వీటిలో అతి శక్తివంతమైన ఎక్స్-కిరణాల జనకస్థానం హంస రాశిలో కనిపించింది కనుక దానికి సిగ్నస్ X-1 (Cygnus X-1) అని పేరు పెట్టేరు. నిజానికి ఇది ఒక బృహన్నీలి మహాతార (Super Blue Giant) అనిన్నీ, ఇది మన సూర్యుడి కంటె 30 రెట్లు పెద్దదనిన్నీ, దీనికొక అదృశ్య సహచరి ఉందనిన్నీ, ఆ సహచరి మన సూర్యుని కంటె 7 రెట్లు పెద్దదనిన్నీ, ఇంత పెద్ద తార శ్వేత కుబ్జతార (white dwarf) కానీ న్యూట్రాన్ తార కానీ అవడానికి వీలు లేదు కనుక ఇది నిరపేక్షంగా కర్రి బిలం అయితీరాలని తీర్మానించేరు. ఈ తీర్మానాన్ని అందరూ అంగీకరించలేదు. అదృశ్య సహచరి మన సూర్యుని కంటె కేవలం 3 రెట్లు మాత్రమే పెద్దదనిన్నీ, కనుక అది న్యూట్రాన్ తార అవడానికి సావకాశాలు లేకపోలేదని వాదిస్తున్నారు. సిగ్నస్ X-1 విషయంలో వాదోపవాదాలు ఎలా ఉన్న సర్పిలాకారంలో ఉన్న పెద్ద క్షీరసాగరాలన్నిటి నడిబొడ్డులోను ఒక కర్రి బిలం ఉండి ఉంటుందని అధిక సంఖ్యాకుల నమ్మకం.

ఈ విశ్వం గురించి చేసే అధ్యయనం క్లిష్టతమం. దూరాల గురించి, వేగాల గురించి, పదార్థాల గరిమ గురించి అంచనాలు వెయ్యడం తేలికయిన పని కాదు. దుర్భిణిలో కంటితో చూడ్డానికి ఏవీ స్ఫుటంగా కనిపించవు. అయినా అప్పటివరకు దొరికిన సమాచారంతో రాబర్టుసన్-వాకర్-ఫ్రీడ్మన్ లు దఖలు పరచిన నమూనాలు సంతృప్తికరంగానే ఉన్నాయి. ఆ నమూనా ప్రకారం ఈ విశ్వం వ్యాప్తి చెందే త్వరణం (acceleration) విశ్వంలో పదార్థము-శక్తి ఎంతెంత ఉన్నాయో వాటి మీద ఆధారపడుతుంది. ఉదాహరణకి వ్యాప్తి చెందుతున్న విశ్వం నిరంతరం అలా వ్యాప్తి చెందుతూనే ఉంటుందా? లేక, కొన్నాళ్ళకి ఆగిపోతుందా? తరువాత ఏమవుతుంది? మరల కుంచించుకు పోతుందా? ఈ రకం ప్రశ్నలకి సమాధానం చెప్పాలంటే విశ్వంలో పదార్థం-శక్తి ఎంత ఉందో తెలియాలి. ఈ పదార్థం-శక్తి వెలువరించే గురుత్వాకర్షక బలం వెనక్కి లాగుతూ, బృహత్ విస్ఫోటనం యొక్క బలం ముందుకు తోస్తూ ఉంటే ఎదో ఒక బలం నెగ్గాలి కదా. లేకపోతే ఈ రెండు బలాలు సమతుల్యంగా ఉండాలి. ఈ సమాచారం మనకి నిర్దిష్టంగా తెలిస్తే కానీ "వ్యాప్తి చెందుతున్న విశ్వం ఎప్పటికైనా ఆగుతుందా? ఆగి, వెనక్కి కుదించుకోవడం మొదలు పెడుతుందా?" వగైరా ప్రశ్నలకి సంతృప్తికరమైన సమాధానాలు దొరకవు.

ప్రస్తుతానికి బృహత్ విస్ఫోటన వాదానికి వచ్చిన మరొక అభ్యంతరం ఏమిటో టూకీగా చెబుతాను. విశ్వం ఏ మూల చూసినా దరిదాపు ఒకేలా కనిపిస్తుంది. అనగా పదార్థం ఒకే విధమైన పలచదనంతో పరచబడ్డట్టు కనబడుతుంది. విశ్వంలో గ్రహ కుటుంబాలు ఉన్నాయి, నక్షత్రాలు ఉన్నాయి, క్షీరసాగరాలు ఉన్నాయి, వీటి మధ్యలో ఉన్న ప్రదేశం దరిదాపు శూన్యం అంటున్నారు. ఇది "ఒకే విధమైన పలచదనంతో పరచబడ్డట్టు" ఎలా అవుతుంది? విశ్వం ఎంతో విశాలమైనది కనుక దానిని కొలిచే సందర్భంలో మనం వాడే "గజం బద్ద" కూడా పెద్దగా ఉండాలి కదా. మనం వాడిన "గజం బద్ద" పొడుగు 300,000,000 కాంతి సంవత్సరాలు ఉన్నప్పుడు విశ్వంలోని పదార్థం ఒకే విధమైన పలచదనంతో పరచబడ్డట్టు కనబడుతుంది. కనుక స్థూలదృష్టికి విశ్వం "సజాతీయం" (homogeneous) గానే కనబడుతోందని తీర్మానించవచ్చు. బృహత్ విస్ఫోటన వాదం ఈ సజాతీయతని సమర్ధించలేకపోతోంది. (స్థలకాలంలో పొంగు, కాలంలో ముడత (Inflation and Wrinkle in Time) వంటి అంశాలతో ఈ కథని అలా చెప్పుకుంటూ పోవచ్చు. వ్యాస విస్తరణ భీతి వల్ల ఆ వివరాలు చెప్పి విసిగించదలుచుకోలేదు. ఈ దిశలో పరిశోధనలు జోరుగానే జరుగుతున్నాయి. [Saul Perlmutter, 1959 -, George Smoot, 1945 -).

3.6 కృష్ణ పదార్థం (Dark Matter), కృష్ణ శక్తి (Dark Energy)

పైన లేవదీసిన రకం ప్రశ్నలకి సమాధానాలు కావాలంటే ప్రస్తుతం విశ్వంలో పదార్థము-శక్తి ఎంత ఉందో తెలియాలి. మన కంటికి కనిపించే పదార్థము-శక్తి ఎంత ఉందో లెక్క వేసి చూస్తే విశ్వవిస్తరణని ఆపడానికి సరిపడా ఉన్నట్లు కనిపించడం లేదు. ఇదే నిజమయితే విశ్వం అలా నిరంతరం విస్తరించుకుంటూ పోతుంది, విస్తరణతో పాటు చల్లబడుతూ పోతుంది. అంటే కొన్నాళ్ళకి నక్షత్రాలన్నీ చల్లారిపోయి, విశ్వం చైతన్యరహితంగా తిమిరాంధకారంలో మునిగిపోతుంది. ఇందుకేనా సృష్టి జరిగింది? చిదిసిన సిసింద్రీలా కాసింతసేపు హడావిడి చేసి చివరికి ఇలా ఒక మూల తొంగుంటుందంటే ఎవరు మాత్రం సహించగలరు? ఈ జగన్నాటకానికి మరొక అంకం ఉంటే బాగుంటుంది కదా! అంటే, విస్తరణ కొంత సేపు జరిగిన తరువాత కుదింపు జరిగి కథ వెనక్కి నడిస్తే బాగుంటుంది కదా! ఇలా ముందుకి, వెనక్కి డోలాయమానంగా విశ్వం ఉగిసలాడాలంటే విశ్వంలో ప్రస్తుతం ఉన్న దాని కంటే ఎక్కువ పదార్థము-శక్తి ఉండాలి. అది కంటికి కనబడకపోయినా పరవాలేదు. ఈ విధంగా ఆలోచించి విశ్వంలో కృష్ణ పదార్థం (dark matter), కృష్ణ శక్తి (dark energy) ఉన్నాయేమోనని వెతకడం మొదలు పెట్టేరు.

4. గుళిక ప్రపంచం

4. 1 జవాతిశయ భౌతిక శాస్త్రం (High-energy Physics), ప్రాథమిక రేణువులు (Elementary Particles), రేణు త్వరణులు (Particle accelerators)

ఇది ఇలా ఉండగా మరొక చీలిక వెంబడి ఎలక్ట్రాన్, ప్రోటాన్ వంటి పరమాణువులతో పాటు అనేక ఇతర ప్రాథమిక రేణువులు (fundamental particles) కుక్కగొడుగుల్లా పుట్టుకురావడం మొదలు పెట్టేయి. ఈ వరద 1897 లో థాంసన్ (J J Thomson, 1856-1940) ఋణావేశం ఉన్న ఎలెక్ట్రాన్ ఉనికిని నిర్ధారించడంతో మొదలయింది. ఆ వెనువెంటనే 1898 లో ధనావేశం ఉన్న ప్రోటాన్ ఉనికి కనుక్కున్నారు. తరువాత 1932 లో జేమ్స్ చాడ్విక్ (James Chadwick, 1891-1974) తటస్థ ఆవేశం ఉన్న (అనగా, ఏ అవేశము లేని) నూట్రాన్ ఉనికిని నిర్ధారించేరు. ఈ దెబ్బతో ఛేదించడానికి వీలుపడదనుకున్న అణువు (atom) లో మూడు రకాల పరమాణువులు (subatomic particles) ఉన్నాయని తెలిసింది. వీటితో పాటు డిరాక్ జోస్యం చెప్పిన రేణువు ఉనికిని ప్రయోగాత్మకంగా నిర్ధారించి, దానికి పోజిట్రాన్ అని పేరు పెట్టడం, పోజిట్రాన్ అనేది ప్రతిపదార్థం (antimatter) కి ఉదాహరణ కావడంతో ఇంకా ఇటువంటి రేణువులు ఉన్నాయేమోనని వేట మొదలయింది. ఇలా ప్రాథమిక రేణువుల పై పరిశోధనలో జవాతిశయ భౌతిక శాస్త్రం (High-energy Physics) అనే పేరుతో ఒక కొత్త శాఖ ఇరవైయవ శతాబ్దపు ఉత్తరార్ధంలో ప్రవేశించింది.

ఈ దిశలో ప్రయాణించిన శాస్త్రాన్ని భారీ శాస్త్రం (Big Science) అంటారు. ఎందుకంటే ఇది భారీ ప్రయోగాల మీద విపరీతంగా ఆధారపడ్డ శాఖ అవడం, ఆ ప్రయోగాలకి కావలసిన సరంజామా అత్యధిక ఖర్చుతో కూడిన వ్యవహారం అవడం, ఆ ప్రయోగాలు చెయ్యడానికి పెద్ద సాంకేతిక సిబ్బంది అవసరం అవడం, ఈ ప్రయోగాలలో బిలియను ఎలక్ట్రాన్ వోల్టులని (1 GeV) మించిన శక్తి ఉన్న రేణు త్వరణుల అవసరం రావడం కారణాలు.

ఎలక్ట్రాన్ ఓల్ట్ అనేది ఒక కొలమానం. దీనిని eV అనే ఇంగ్లీషు అక్షరాలలో రాస్తారు. GeV అంటే బిలియను (1,000,000,000) ఎలక్ట్రాన్ వోల్టులు. ఒక ఎలక్ట్రాన్ వోల్టు = 1.602×10^{-19} = 1.602 × 10^(-19) జాలులు. బిలియను ఎలక్ట్రాన్ వోల్టులు (1 GeV) అంటే 1.602 × 10^(-7) జాలులు. ట్రిలియను ఎలక్ట్రాన్ వోల్టులు (1 TeV) అంటే 1.602 × 10^(-4) జాలులు. ఒక 100 వాట్ల దీపపు బుడ్డి గంట సేపు వెలిగితే 360,000 జాలుల శక్తి ఖర్చు అవుతుంది. ఒక ట్రిలియను ఎలక్ట్రాన్ వోల్టులు (1 TeV) శక్తి అంటే ఒక చీమ గబగబా నడవడానికి సరిపడే శక్తి. కనుక మనం ప్రతి రోజ ఖర్చు చేసే శక్తితో పోల్చి చూస్తే రేణు త్వరణులలో ఖర్చు అయే శక్తి అత్యల్పం! కాని భౌతిక శాస్త్రవేత్తలు అణు ప్రపంచంలో

ప్రయోగాలు చేసేటప్పుడు ఒక ట్రిలియను ఎలక్ట్రాన్ వోల్టులు అంటే చాల ఎత్తయిన గమ్యం. ఎందుకంటే ఒక చీమ బరువు ఉరమరగా 0.1 గ్రాము ఉంటే, ఒక ప్రోటాను బరువు కేవలం 1.65 × 10^{-24} గ్రాములు మాత్రమే!

ప్రాథమిక రేణువుల మీద పరిశోధనకి కావలసిన మౌలిక వ్యవస్థ పేరు రేణు త్వరణి (particle accelerator). ఈ వ్యవస్థకి ఆద్యుడు ఎర్నెస్ట్ లారెన్స్ (Ernest Lawrence, 1901-1958). ఈయన నిర్మించిన సైక్లోట్రాన్ వంటి ఉపకారణాలని ఉపయోగించి రేణువుల శక్తిని విపరీతంగా పెంచి, వాటిని జోరుగా ఎదురెదురుగా పరిగెట్టించి, ఒకదానితో మరొకటి ఢీకొనేటట్లు చేస్తారు. లేదా, జోరుగా ప్రయాణం చేస్తున్న రేణువుల ప్రవాహం నిలకడగా ఉన్న ఒక పలకని గుద్దుకునేటట్లు చేస్తారు. అప్పుడే రేణువులు ఛిన్నాభిన్నం అయిపోతాయి. అప్పుడు అలా విరిగిన ముక్కలని పరీక్షించి రేణువుల అంతర్గత కట్టడిని అర్థం చేసుకుంటారు. మొదట్లో రేణు త్వరణిలని పదార్థంలోని అణువుల గర్భంలో ఉన్న పరమాణు రేణువుల నిజ తత్త్వాన్ని అర్థం చేసుకుందుకు నిర్మించడం మొదలుపెట్టేరు. క్రమేణా పదార్థం యొక్క నిజ తత్త్వం అర్థం అయితే కానీ విశ్వ ఆవిర్భావం యొక్క నిజం అవగాహనలోకి రాదని తెలుసుకోగానే ఈ శాఖ ప్రాముఖ్యత పెరిగింది.

కాలక్రమేణా సంపన్న దేశాలయిన అమెరికాలోను, యూరప్ లోను చాల రేణు త్వరణుల నిర్మాణం జరిగింది. వీటిలో చెప్పుకోదగ్గ కొన్నింటి పేర్లు, అవి ఎంతంత శక్తిని పుట్టిస్తాయో, అవి ఏయే రకాల ప్రాథమిక రేణువుల అధ్యయనానికి ఉపయోగపడతాయో, అవి ఎక్కడెక్కడ ఉన్నాయో, అవి ఏ సంవత్సరంలో వాడుకలోకి వచ్చాయో - టూకీగా - ఈ దిగువ చూపిస్తున్నాను:

కాస్మోట్రాన్, 2.8 GeV, ప్రోటానులు, బ్రూక్^హేవెన్, అమెరికా (1952)
బీవాట్రాన్, 3.5 GeV, ప్రోటానులు, బర్^క్లి , అమెరికా (1954)
డూబ్న, 4.5 GeV, ప్రోటానులు, డూబ్న, సోవియట్ యూనియన్ (1957)
ప్రోటాన్-సింక్రో ట్రాన్, 7 GeV, ప్రోటానులు, సెర్న్ (CERN), జినీవా, స్విట్జర్లండ్ (1959)
స్లేక్ (SLAC), 20 GeV, ప్రోటానులు, స్టేన్^ఫర్డ్, అమెరికా (1961)
కొల్లైడర్, 40 GeV, ప్రోటానులు & ఏంటిప్రోటానులు, సెర్న్ (CERN), జినీవా, స్విట్జర్లండ్ (1981)
టివాట్రాన్, 2000 GeV, ప్రోటానులు & ఏంటిప్రోటానులు, ఫెర్మి లేబ్, షికాగో, అమెరికా (1986)
స్లేక్ (SLAC), 100 GeV, ప్రోటానులు & ఏంటిప్రోటానులు, స్టేన్^ఫర్డ్, అమెరికా (1986)
LHC, 14,000 GeV, ప్రోటానులు, సెర్న్ (CERN), జినీవా, స్విట్జర్లండ్ (2008)

రేణు త్వరణుల సమర్థతతో పాటు పరమాణు రేణువుల సంఖ్య కూడా పాపం పెరిగినట్లు పెరగడం మొదలు పెట్టింది. వందలకొద్దీ కనిపిస్తున్న ఈ పరమాణు రేణువులు చెప్పే కథని కట్టుబాటు చెయ్యడానికి పరిశోధకుల పుర్రెలలో ఊహాజనిత పరమాణు రేణువులు పుట్టుకురావడం మొదలయింది. వీటిలో చెప్పుకోదగ్గ పరమాణు రేణువు పేరు క్వార్క్ (quark); దీనిని ప్రతిపాదించిన ఘనత ముర్రే గెల్-మాన్ (Murray Gell-Mann, 1929-2020), జార్జి జ్విగ్ (George Zweig, 1937 -) లకి చెందుతుంది. ఈ రకం రేణువుల అస్తిత్వానికి ప్రత్యక్ష ప్రమాణం లేకపోయినా ఇవి ఉన్నాయనుకుంటే ఈ పరమాణు రేణువులు చెప్పే కథని కట్టుబాటు చెయ్యవచ్చు. ఇంతవరకు ఎలక్ట్రానులు, ప్రోటానులు, నూట్రానులు అవిభాజ్యమైన ప్రాథమిక రేణువులన్న ప్రాతిపదిక మీద భౌతికశాస్త్రం అనే సౌధం నిర్మించబడింది. ఈ రేణువులు అవిభాజ్యమే కాకుండా, వీటి మీద ఉండే ఆవేశం (charge) కూడా అవిభాజ్యమే. ఇది నిజమే కాని, ఈ రేణువులని మూడేసి ముక్కలు చెయ్యగలిగినట్లు ఉహించుకోమన్నారు ఈ ఇద్దరు శాస్త్రవేత్తలు. ఈ ఊహాజనిత క్వార్క్ లకి “పైన” (up, u), “కింద” (down, d), “వింత” (strange, s) అని కొంటె పేర్లు పెట్టేరు. “పైన” (u) క్వార్క్ ఆవేశం ⅔, “కింద” (d) క్వార్క్ ఆవేశం -⅓,   “వింత” (s) క్వార్క్ ఆవేశం -⅓ అని అనుకోమన్నారు. ఇప్పుడు రెండు “పైన” (u) క్వార్క్ లు, ఒక “కింద” (d) క్వార్క్ కలిస్తే వాటి మొత్తం ఆవేశం ⅔ + ⅔ - ⅓ = 1 అవుతుంది కదా. ఇది +1 కనుకనున్ను, ప్రోటాను ఆవేశం +1 కనుకనున్ను ఒక ప్రోటానులో రెండు “పైన” (u) క్వార్క్ లు, ఒక “కింద” (d) క్వార్క్ ఉండాలని ప్రతిపాదించారు. ఇదే విధంగా ఒక నూట్రానులో రెండు “కింద” (d) క్వార్క్ లు, ఒక “పైన” (u) క్వార్క్ ఉండాలని ప్రతిపాదించారు. అప్పుడు నూట్రాను ఆవేశం -⅓ -⅓ +⅔ = 0 అవుతుంది. ఇదేదో బాగానే ఉందే అని ఇతరులు మరో మూడు క్వార్కులని ప్రతిపాదించారు. వాటి పేర్లు: charm (c), bottom (b), top (t). ఈ ఆరింటిని క్వార్కుల షాడబాలు (flavors) అంటారు. అంతే కాకుండా ఒకొక్క షాడబం మూడేసి రంగులలో వస్తుంది: ఎరుపు, పచ్చ, నీలం. ఇప్పుడు నూట్రానులో ఉండే మూడు క్వార్కులలో ఎరుపు, పచ్చ, నీలం అనే మూడు రంగులు ఉండేటట్లు చూసుకోమన్నారు. ఈ మూడు రంగులని కలగలిపితే తెలుపు వస్తుంది. కనుక నూట్రాను రంగు తెలుపు! ఈ క్వార్కులు అణుగర్భంలో బంధించబడి ఉంటాయి కనుక వీటిని విడివిడిగా విడగొట్టి చూడలేము. ఇలా “రంగులు, రుచులు, వాసనలు” వగైరా భావాలతో ప్రాథమిక రేణువుల లక్షణాలన్నిటిని సమగ్రంగా వర్ణించే వాదానికి Quantum Chromodynamics (QCD) అని పేరు పెట్టేరు. ఈ QCD కథనం అర్థం కావాలంటే కొంచెం వెనక్కి వెళ్ళి “ఏకీకరణ” అంటే ఏమిటో, దానిలో QCD పాత్ర ఏమిటో చూద్దాం.

4.2 “ఏకీకరణకి” జరుగుతూన్న ప్రయత్నం

విశ్వస్వరూపాన్ని ఆకళింపు చేసుకోటానికి జరుగుతూన్న ప్రయత్నంలో శాస్త్రవేత్తలకి తీరని కోరిక ఒకటి ఉండిపోయింది. అదేమిటంటే - అణుగర్భం నుండి దిగంతాలలో ఉన్న క్షీరసాగరాల వరకూ, కాలం పుట్టినప్పటి నుండి "ఆఖరి క్షణం" వరకు – సమస్తాన్నీ ఒకే ఒక సిద్ధాంత హర్మ్యంలో ఇమడ్చ గలగటం. ఈ రకం సిద్ధాంతం అంటూ ఒకదానిని నిర్మించగలిగితే దానిని సమస్త సిద్ధాంతం (Theory of Everything) అనాలి అని అంటున్నారు.

ఏకీకరణ (unification) అంటే ఏమిటి? ఈ ఏకీకరణ సమస్యని అర్థం చేసుకోవడం తేలికే కానీ పరిష్కరించడం కష్టం. మనం నిత్య వ్యవహారాలలో అనేక దృగ్విషయాలని చూస్తూ ఉంటాం. "వీటన్నిటికీ మూల కారణం ఒకటేనా? లేక వేర్వేరు కారణాలు ఉండొచ్చా?" అనే అనుమానం కలగడం సహజం. ఉదాహరణకి,
నూటన్ ప్రవచించిన గురుత్వాకర్షక సూత్రం విశ్వంలోఉన్న ప్రతి వస్తువు, ప్రతి ఇతర వస్తువుని ఆకర్షిస్తుంది అని చెబుతోంది. ఎంత బలంతో? వాటి వాటి గరిమల లబ్ధానికి అనులోమ అనుపాతంలోను, వాటి మధ్య దూరానికి విలోమ అనుపాతంలోను అని చెబుతోంది. ఇదే విధంగా కూలుంబ్ ప్రవచించిన విద్యుదావేశ సూత్రం ప్రకారం విశ్వంలో ధన విద్యుదావేశంతో ఉన్న ప్రతి వస్తువు, ఋణ విద్యుదావేశంతో ఉన్న ప్రతి ఇతర వస్తువుని ఆకర్షిస్తుంది అని చెబుతోంది. ఎంత బలంతో? వాటి వాటి ఆవేశాల లబ్ధానికి అనులోమ అనుపాతంలోను, వాటి మధ్య దూరానికి విలోమ అనుపాతంలోను. ఇదే విధమైన సూత్రం అయస్కాంత ధ్రువాల యెడల కూడా ఉంది. ఈ మూడు గణిత సూత్రాలని చూసిన తరువాత ఒక విషయం కొట్టొచ్చినట్లు స్పష్టం అవాలి. ఈ మూడు సూత్రాలు చూడడానికి ఒకే సూత్రంలా ఉన్నాయి; పేర్లు మారేయి తప్ప! మరొక విషయం. గురుత్వాకర్షక సూత్రం కేవలం ఆకర్షక సూత్రమే. విద్యుదావేశ సూత్రం, అయస్కాంత సూత్రం ఆకర్షక సూత్రాలైనా కావచ్చు, వికర్షక సూత్రాలైన కావచ్చు. అనగా ఈ మూడు సూత్రాల మధ్య కొన్ని పోలికలు ఉన్నాయి, కొన్ని తేడాలు ఉన్నాయి. ఈ మూడు సూత్రాలూ వివిధ వ్యక్తుల మస్తిష్కాలలో, వివిధ సమయాల్లో పుట్టుకొచ్చినవే కానీ ముగ్గురు కూడబలుక్కుని తయారు చేసినవి కావు. ఈ మూడింటిని ఒకే ఒక ప్రాథమిక సూత్రంతో ఉత్పన్నం చెయ్యగలిగితే ఆ ప్రయత్నాన్ని ఏకీకరణ అని పిలవొచ్చు. కానీ, ఏకీకరణ లక్ష్యం ఇంత కంటే విశాలమైనది.

పూర్వకాలపు పుస్తకాలలో కదలిక (motion), వేడి (heat), వెలుగు (light), శబ్దం (sound), అయస్కాంత తత్త్వం (magnetism), విద్యుత్ తత్త్వం (electricity), గురుత్వాకర్షణ (gravity), అనుకుంటూ విడివిడిగా అధ్యాయాలు ఉండేవి. నూటన్ వచ్చి బణువుల (molecules) కదలికతో శబ్దానికి భాష్యం చెప్పవచ్చు అన్నాడు. అలాగే వేడిని కూడా బణువుల కదలికతో అర్థం చేసుకోవచ్చు

అన్నాడు. ఇలా ఎన్నో రూపాలలో కనిపిస్తున్న దృగ్విషయాలని ఒకే మూల సూత్రం ఉపయోగించి అర్థం చేసుకోవచ్చని తెలిసింది. ఇదే ఏకీకరణ అంటే.

నూటన్ కాలానికి ముందు భూమి మీద అమలులో ఉండే భౌతిక సూత్రాలు ఒక విధంగానూ, రోదసిలో (ఆకాశంలో కనిపించే సూర్య, చంద్ర, గ్రహ, నక్షత్రాదులలో) భౌతిక సూత్రాలు మరొక విధంగానూ ఉంటాయని అనుకునేవారు. నూటన్ తన గురుత్వాకర్షక సూత్రం సర్వత్రా, విశ్వం యావత్తు ఒకే సూత్రాలకి లోబడి పని చేస్తుందని చెప్పి మొదటి ఏకీకరణ భావాన్ని ప్రవేశపెట్టేడు. అనగా, ఒక సూత్రం అన్ని సందర్భాలలోనూ, అన్ని చోట్ల ఒకే విధంగా పని చేస్తే దానికి ప్రాధాన్యత ఎక్కువ ఉంటుంది, దానికి అందం ఎక్కువ ఉంటుంది.

పందొమ్మిదవ శతాబ్దం అంతం అయే రోజులలో జేమ్స్ మెక్స్వెల్ (James Clerk Maxwell , 1831-1879) వచ్చి విద్యుత్ తత్త్వము, అయస్కాంత తత్త్వము పైపైకి వేర్వేరు దృగ్విషయాలుగా కనిపిస్తున్నా నిజానికి రెండూ విద్యుదయస్కాంత తత్త్వం (electromagnetism) అనే ఏక్తైక దృగ్విషయానికి బొమ్మ, బొరుసు లాంటివి అని నిరూపించి, రెండింటిని ఒకే ఒక నమూనాలో ఇరికించి ఏకీకరణ సాధించేడు. ఈ విద్యుదయస్కాంత తత్త్వం అధ్యయనం చేసే శాస్త్రాన్ని విద్యుత్ చలన శాస్త్రం (electrodynamics) అంటారు.

గుళిక వాదాన్ని ప్రత్యేక సాపేక్ష వాదంతో సమన్వయం చేస్తూ పాల్ డిరాక్ (Paul Dirac, 1902-1984) ఎలక్ట్రాన్ ప్రవర్తనని వర్ణించడానికి ష్రోడింగర్ సమీకరణం కంటె అధునాతనమైన సమీకరణాన్ని అందించారు. ఈ సమీకరణం కాంతి వేగంతో సమతుల్యంగా ప్రయాణించే ఎలక్ట్రాను స్థితిని వర్ణించి చెప్పడమే కాకుండా ఎలక్ట్రానుని పోలినది, ధనావేశం ఉన్నది అయిన మరొక పరమాణువు (పాజిట్రాన్) ఉండి తీరాలని జోశ్యం చెప్పింది. అయినప్పటికీ డిరాక్ సమీకరణాల్లో చిన్న వెలితి మిగిలిపోయింది. ఎలెక్ట్రాను అయస్కాంత భ్రామకం (magnetic moment) అనే లక్షణాన్ని ప్రదర్శిస్తుంది. డిరాక్ సిద్ధాంతం ప్రకారం దీని విలువ 1 అవాలి. కానీ ప్రయోగం చేసి చూస్తే ఈ విలువ 1.00118 కనిపించింది. ఈ లేశమంత తేడాని సవరించడానికి పుట్టిన వాదం పేరే “గుళిక విద్యుత్ చలన శాస్త్రం” లేదా ముద్దుగా, QED.

గుళిక వాదం వచ్చి కాంతి తేజాణువులు రూపంలో ఉండాలని చెబుతోంది. కానీ కాంతి తరంగాలు మాదిరి ప్రవహిస్తోందని మెక్స్వెల్ తన విద్యుత్ చలన శాస్త్రం (electrodynamics) లో నాలుగు సమీకరణాలతో ఉద్ఘాటించేడు; మెక్స్వెల్ ప్రతిపాదించిన సమీకరణాలలో ప్లేంక్ స్థిరాంకం కనిపించనే కనిపించదు. కనుక గుళిక వాదానికి మెక్స్వెల్ సమీకరణాలకి మధ్య పొంతన కుదర్చాలంటే మెక్స్వెల్

సమీకరణాలని కూడా గుళికీకరించాలి. ఎలక్ట్రాను వంటి ఆవేశపూరిత పదార్థ రేణువులకి, తేజాణువుల రూపంలో ఉన్న కాంతికి మధ్య జరిగే సంకర్షణని వర్ణించడంలో కృతకృత్యులు అయినవారు షిన్-ఇచిరో తోమొనాగా (Shin-ichiro Tomonaga, 1906-1979), జూలియన్ ష్వింగర్ (Julian Schwinger, 1918-1984), రిచర్డ్ ఫెయిన్మన్ (Richard Feynman, 1918-1988). వీరు ముగ్గురు ఆవిష్కరించిన నమూనాని గుళిక విద్యుత్ చలన శాస్త్రం (Quantum Electrodynamics లేదా QED) అంటారు. ఈ "గుళిక విద్యుత్ చలన శాస్త్రం" గుళిక వాదాన్ని, విద్యుత్ చలన శాస్త్రాన్ని ఏకీకరణ చేసి ఒకే తాటి మీదకి తీసుకు వచ్చి భౌతిక శాస్త్రాన్ని మరొక అడుగు ముందుకి నడిపింది.

ఇలా మరొక "ఏకీకరణ" జయప్రదం అవగానే విశ్వంలో ఉన్న నాలుగు ప్రాథమిక బలాలని - అనగా, విద్యుదయస్కాంత బలం (electromagnetic force), గురుత్వాకర్షక బలం (gravitational force), త్రాణిక బలం (strong force), నిస్త్రాణిక బలం (weak force) అనే నాలుగు ప్రాథమిక బలాలని - కూడ ఒకే తాటి మీదకి నడిపించాలానే కోరిక పుట్టడం సహజం. ఈ ప్రయత్నంలో త్రాణిక బలాన్ని విద్యుదయస్కాంత బలంతో సంధాన పరచగా వచ్చినది Quantum Chromodynamics (QCD). ఈ వాదం సహాయంతో   అణుగర్భంలో నిబిడీకృతమై ఉన్న త్రాణిక బలం (strong force) కి భాష్యం చెప్పేరు. (రెండు కాని, అంతకంటె ఎక్కువ కాని క్వార్కులని త్రాణిక బలంతో బంధించినప్పుడు లభించే రేణువులని "మోటురేణువులు" (hadrons) అంటారు కనుక జినీవాలో నిర్మాణం చెందిన రేణు త్వరణిని hadron collider అన్నారు.)

క్వాంటం ఎలెక్ట్రోడైనమిక్స్ (QED) ఇరవైయవ శతాబ్దపు పూర్వార్ధంలో పుట్టి పెరిగినదైతే క్వాంటం క్రోమోడైనమిక్స్ (QCD) ఇరవైయవ శతాబ్దపు ఉత్తరార్ధంలో పరిఢవిల్లింది. అనగా QED ద్వారా విశ్వవ్యాప్తమయిన విద్యుదయస్కాంత తత్త్వానికి గుళిక భాష్యం దొరికింది. అలాగే QCD ద్వారా అణుగర్భానికి పరిమితమైన త్రాణిక బలానికి గుళిక భాష్యం దొరికింది. మరి రేడియో ధర్మం వెనక ఉన్న నిస్త్రాణిక బలం సంగతి? ఇరవయ్యవ శతాబ్దపు భౌతిక శాస్త్రవేత్తలలోని "ఘనాపాటీ" ల సరసలో లెక్కించ దగ్గ ఎన్రికో ఫెర్మీ (Enrico Fermi, 1901-1954) రేడియో ధర్మానికి మూలకారణమైన నిస్త్రాణిక సంకర్షణ (weak interaction) గురించి 1932 లో పరిశోధన చేసేరు. "బీటా క్షీణత" అనే ప్రక్రియలో అణుగర్భంలో ఉన్న నూట్రాను, కొన్ని సందర్భాలలో, శిధిలం అయిపోయి, ఆ స్థానంలో ఒక ప్రోటాను, ఒక ఎలక్ట్రాను, ఒక ప్రతి-నూట్రినో (anti-neutrino) మిగులుతాయని సిద్ధాంతీకరించేరు. ఈ వాదాన్ని కొన్ని మార్పులతో సవరించడానికి ప్రయత్నించిన వారిలో ముఖ్యులు: రాబర్ట్ మార్షక్ (Robert Marshak, 1916-1992), జార్జి సుదర్శన్ (E. C. George Sudarshan, 1931- 2018), రిచ్చర్డ్ ఫెయిన్మన్ (Richard Feynman), ముర్రే గెల్-మాన్ (Murray Gell-Mann). కానీ వీటన్నిటి కంటే ఆమోదయోగ్యమైన వాదం స్టీవెన్ వైన్బర్గ్ (Steven Weinberg, 1933 - 2021), అబ్దుస్ సలామ్

(Abdus Salam, 1929-1996), షెల్డన్ గ్లేషో (Sheldon Glashow, 1932 -) ప్రవేశపెట్టారు. వీరు ప్రతిపాదించిన “ఎలక్ట్రో వీక్” వాదం (electroweak theory) విద్యుదయస్కాంత బలాన్ని, నిస్త్రాణిక బలాన్ని సంధానపరచి ఒకే తాటి మీదకి తీసుకువచ్చింది. వీటన్నిటిని కలపగా మనకి లభించిన నమూనాని "ప్రాథమిక రేణువుల ప్రామాణిక నమూనా" (Standard Model of Fundamental Particles) అని కానీ, టూకీగా ప్రామాణిక నమూనా" (Standard Model) అని కానీ అంటారు. ఈ ప్రామాణిక నమూనాలో గురుత్వాకర్షక బలం మినహా మిగిలిన మూడు ఏకీకరణ పొందేయి. గురుత్వాకర్షక బలాన్ని కూడా ప్రామాణిక నమూనాలో ఇరికించాలంటే గురుత్వాకర్షక బలాన్ని కూడా గుళికీకరించాలి. ఇది ఇంతవరకు సాధ్యం కాలేదు. ప్రయత్నాలు జరుగుతున్నాయి. ఇది సఫలం అయితే దానిని Grand Unified Theory (GUT) అనవచ్చు!!

ఈ కోణంలో ఆలోచిస్తే సృష్ట్యాదిలో ఉన్నది ఒకే ఒక్క బలం. విశ్వం వ్యాప్తి చెంది, చల్లారుతున్నకొద్దీ ఈ బలం విడిపోయి మనకి నాలుగు (విద్యుదయస్కాంత, త్రాణిక, నిస్త్రాణిక, గురుత్వాకర్షక) బలాలుగా విడివిడిగా కనబడుతున్నాయి. ఇటువంటి నమూనాలని ఉపయోగించి మనం ఉంటున్న ఈ విశ్వంలో ప్రతిపదార్థం (antimatter) కంటే పదార్థం (matter) ఎందుకు లేశమంత ఎక్కువగా ఉందో మోతోహికో యోషిమురా (Motohiko Yoshimura) 1978 లో రుజువు చేసేరు.

ప్రామాణిక నమూనా ఎన్నో విధాలుగా విజయవంతం అయినప్పటికీ ఇది కూడా పరిపూర్ణత సాధించలేదనే చెప్పాలి. ఉదాహరణకి ప్రామాణిక నమూనాలో గురుత్వాకర్షక బలానికి స్థానం లేదు. ఈ వెలితిని పూడ్చాలి. ఈ నమూనాలో పరామితులు (parameters) మరీ ఎక్కువ ఉన్నాయి; వీటన్నిటిని ప్రయోగాత్మకంగా నిర్ధారించాలి. ఈ నమూనాని ఉపయోగించి “ఎందుకు?” అనే ప్రశ్నలకి సమాధానాలు చెప్పలేము. మనకి కనిపిస్తున్న ప్రాథమిక రేణువులు ఎందుకు ఉన్నాయి? వాటికి ఆయా గరిమలు ఎందుకు ఉన్నాయి? ప్రాథమిక బలాలు నాలుగే ఎందుకు ఉన్నాయి? అయిదు ఎందుకు లేవు? ఒకే ఒక్కటి ఉంటే సరిపోదా? ఇలాంటి ప్రశ్నలకి ఇంకా సమాధానాలు లేవు.

4.3 పోగుల వాదాలు (String Theories)

సమస్త సిద్ధాంతం నిర్మించటంలో ఉన్న సాధక బాధకాలలో మింగుడు పడని మొదటి సమస్య ఏమిటంటే – పొందు పొత్తికలు లేని రెండు సిద్ధాంతాలని ఒకే తాటి మీదకి చేర్చటం. ఈ పని చెయ్యటం మహా మేధావి అయిన్‌స్టయిన్ అంతటివాడికే చేత కాలేదు. ఈ కొరుకుడు పడని సమశ్యకి పరిష్కారం “పోగుల వాదాలు” (String Theories) లో దొరుకుంతుందేమో అని ఒక ఆశ కొంతమందిలో ఉంది. ఈ వాదాలకి ఆయువుపట్టు “పోగులు” (strings) అనే ఊహనం (concept).

పోగు అంటే కంపిస్తూన్న, అతి సూక్ష్మమైన మోతాదులో ఉన్న, శక్తి. గుళిక వాదంలో శక్తి చిన్న గుళిక (quantum) ప్రమాణంలో ఉంటుందని ఊహించుకున్నాం. ఇక్కడ శక్తి – గుళికకి బదులు - చిన్న పోగులా ఉంటుందని ఊహించుకుంటున్నాం. ఈ "పోగు" అనేది మన ఊహా ప్రపంచంలోనే ఉంది. దీనికి భౌతికమైన అస్తిత్వం ఏమీ లేదు.

ఈ పోగు అనేది మనం ఊహించటానికి వీలు లేనంత చిన్న "వస్తువు." కంటికి కనబడదు. మీటిన తీగ కంపించినట్లు ఈ పోగు ఎల్లప్పుడూ అలా కంపిస్తూనే ఉంటుంది. రకరకాల కంపనల ద్వారా రకరకాల స్వరాలు పుట్టినట్లు ఈ పోగులు ఒక రకంగా కంపిస్తే అవి మనకి ఎలక్ట్రానులు (electron) లా కనిపిస్తాయి. మరొక రకంగా కంపిస్తే న్యూట్రానులు (neutrons) లా కనిపిస్తాయి. అదీ పోగుల వాదానికి ఆయువుపట్టయిన ఊహ.

ఈ పోగుల వాదం సహాయంతో ఇప్పటివరకు పొందు పొత్తికలు లేకుండా, ఎడమొహం, పెడ మొహం పెట్టుకుని ఉన్న సాపేక్ష వాదాన్ని, గుళిక వాదాన్ని ఒకే తాటి మీదకి తీసుకు రావచ్చు అని అంటున్నారు. ఈ పోగుల వాదం సహాయంతో పదార్థపు ప్రాథమిక రేణువులన్నిటిని (అవి ఎలక్ట్రానులు అవనివ్వండి, క్వార్కులు అవనివ్వండి), బలవాహక రేణువులన్నిటిని (అవి ఫోటానులు కావచ్చు, గ్రేవిటానులు కావచ్చు) ఒకే ఒక రకం కట్టడపు ఇటిక (building block) తో నిర్మించవచ్చు. ఆ కట్టడపు ఇటిక పేరే పోగు. ఈ పోగు ఒక రకంగా ప్రకంపిస్తే ఆ ప్రకంపన మనకి ఒక రేణువులా "అనిపిస్తుంది", మరొక విధంగా కంపిస్తే మరొక రేణువు అనే భావన కలుగుతుంది.

ఈ పోగుల వాదంతో ఒక సుఖం ఉంది. "పోగు" అనే భావం మనందరికీ చిర పరిచితం. వీణ, ఫిడేలు వంటి వాయిద్యాలలో తీగ పొడుగు మార్చి రకరకాల స్వరాలు పలికించినట్లే, ఈ పోగుల చేత "రకరకాల స్వరాలు పలికించవచ్చు." సతతం మనస్సులో గుర్తు పెట్టుకోవలసినది ఏమిటంటే ఈ పోగులు మన కపోలకల్పితాలు. వీటి అస్తిత్వం నిజం కాదు. ఇవి కేవలం నమూనాలు మాత్రమే. కాంతిని కిరణంలా ఉహించుకున్నాం, రేణువులా ఊహించుకున్నాం, తరంగాలుగా ఊహించుకున్నాం. దాని నిజ స్వరూపం ఆ పెరుమాళ్లకే ఎరుక. అలాగే పోగులు కూడా.

ఇక్కడ అందరూ గమనించవలసిన విషయం ఒకటి ఉంది. సాధారణంగా భౌతికశాస్త్రంలో ముందు ప్రయోగం చేస్తాం. ఆ ప్రయోగంలో మనం గమనించిన విషయాన్ని సమర్థించటానికి ఒక వాదాన్ని లేవదీస్తాం. పండు చెట్టు కొమ్మ నుండి నేల మీదకి పడటం చూసి అది ఎందుకు అలా పడిందో చెప్పటానికి నూటన్ గురుత్వాకర్షణ వాదం లేవదీశాడు కదా. పోగుల వాదం దీనికి వ్యతిరేకం అనుకోవచ్చు. ఒకరు ఒక గణిత సమీకరణంలో ఒక చిత్రమైన లక్షణం చూసేరు. అదే రకం లక్షణం

భౌతిక ప్రపంచంలో ఉంటే గింటే మన ప్రామాణిక నమూనాలో ఉన్న లొసుగుని సరిచెయ్యవచ్చు. అందుకని ఆ గణితంలోని సమీకరణాన్ని యధాతథంగా సేకరించి భౌతిక శాస్త్రానికి అనువర్తింప చెయ్యటానికి ప్రయత్నించేరు. అదే ఇంతింతై, ఎంతో పెద్దదై, పోగుల వాదంలా పరిణమించింది తప్ప ఒక ప్రయోగం ద్వారా దొరికిన ప్రమాణాన్ని సమర్ధించడానికి లేవదీసిన వాదం కాదు.

గణితశాస్త్రంలో పుట్టిన ఈ పోగుల వాదం నిజంగా మన భౌతిక ప్రపంచానికి అనువర్తిస్తే, ఈ విశ్వానికి 10 కొలతలు లేదా మాత్రలు (dimensions) ఉన్నాయని మనం ఒప్పుకోవాలి. అంతే కాదు, ఈ విశ్వంతో పాటు అనంతమైన సమాంతర విశ్వాలు (parallel universes) కూడ ఉన్నాయని ఒప్పుకోవాలి. పొడుగు, వెడల్పు, లోతు అనే మూడు కొలతలని మించి నాలుగో కొలతని ఊహించుకోటానికే ఇబ్బంది పడుతూన్న మనకి 10 కొలతల విశ్వం ఊహించుకోవటం వశమవుతుందా? బిలియనుల కొద్దీ ఉన్న క్షీరసాగరాలనీ, వాటిలో ట్రిలియనుల కొద్దీ ఉన్న నక్షత్రాలనీ ఊహించుకోవటమే గగనమైపోతున్న సమయంలో ఇలాంటి విశ్వాలు ఇంకా అనేకం ఉన్నాయంటూ ఊహించుకోమంటే కొంచెం కష్టమే.

ఈ పోగుల వాదం కౌమార దశలోకి ఎదిగే లోపలే దీన్ని తలదన్నే మరొక వాదం పుట్టుకొచ్చింది. ఈ కొత్త వాదాన్ని M-theory అంటారు. ఇంగ్లీషులో ఈ పేరు ఎలా వచ్చిందో ఎవ్వరికీ తెలియదు కాని, M అనే అక్షరం membrane అనే మాట లోంచి వచ్చిందని మనం ఊహాగానం చెయ్యవచ్చు. పలచటి పొరని ఇంగ్లీషులో membrane అంటారు. సంస్కృతంలో అంబరం అనొచ్చు. అంబరానికీ membrane కీ ధ్వనిలో సామ్యం ఉంది చూశారూ! పోగులని నేత నేస్తే వచ్చేది బట్ట. బట్టని అంబరం అంటారు కనుక మనం దీనిని అంబర వాదం అందామా?

పోగుల వాదానికి "పోగు" భూమిక అయితే పొరల వాదానికి "పొర" భూమిక. పోగుని వర్ణించటానికి 10 లక్షణాలు కావలసి వస్తే పొరని వర్ణించటానికి 11 లక్షణాల వరకూ కావలసి రావచ్చు. ఈ అంబర వాదంలో మన విశ్వం మూడు దిశలలో వ్యాప్తి చెందిన "బరం" (3-dimensional "brane"). ఈ "బరం" (పొర) మూడు కంటె ఎక్కువ దిశలలో వ్యాప్తి చెందిన ప్రదేశంలో తేలియాడుతూ ఉంటుంది. ఇదేమీ బోధపడకపోతే బాధ పడకండి. రాసూన్న నాకు, ఈ వాదాన్ని లేవదీసిన శాస్త్రవేత్తలకి కూడ ఇది పూర్తిగా బోధపడలేదు.

బోధపడదు అని వదిలెస్తే ఎలా? పురుష ప్రయత్నం చెయ్యాలి కదా! కనుక ఉపమానాల ద్వారా ప్రయత్నిస్తాను. "ఈ విశ్వానికి 11 లక్షణాలు ఉన్నాయి. వాటిల్లో మనందరికీ పరిచయమైనవి పొడుగు, వెడల్పు, లోతు, కాలం. మనకి పరిచయం లేని లక్షణాలు ఇంకా 7 ఉన్నాయి" అని నేనంటే అదేమీ అంత మింగుడు పడని సమస్య కాదు. బొమ్మ గీసి చూపలేము కాని, ఊహించుకోకలం. కావలిస్తే

వాటికి గిడుగు, గిడల్పు, గీతు, గీలం వంటి పేర్లు పెట్టుకోవచ్చు. పొడుగునీ, వెడల్పునీ గ్రాఫు కాగితం మీద చూపాలనుకున్నప్పుడు పొడుగుని కాగితానికి నిలువు దిశలోనూ, వెడల్పుని కాగితానికి అడ్డు దిశలోనూ చూపుతాం. ఈ నిలువు దిశకీ, అడ్డు దిశకీ మధ్య ఉన్న కోణం లంబ కోణం (అనగా, 90 డిగ్రీలు). ఆకాశంలో ఎగురుతూన్న విమానం ఎక్కడుందో చెప్పటానికి దాని అక్షాంశం (పొడుగు లాంటిది), రేఖాంశం (వెడల్పు లాంటిది) చెబితే సరిపోదు; అది ఎంత ఎత్తులో ఎగురుతోందో కూడ చెప్పాలి కదా. అక్షాంశానికీ, రేఖాంశానికీ మధ్య ఉండే కోణం లంబ కోణం. ఈ రెండింటి నుండి నిట్టనిలువుగా పైకి గీసే గీత ఈ రెండింటికి కూడ లంబ కోణంలో ఉంటుంది. అదే విధంగా కాల గమనాన్ని కొలిచే గీత మరొకటి ఉందనుకుందాం. ఆ గీత పైన చెప్పిన మూడింటికి లంబకోణంలో ఉంటుంది. అలా ఎన్ని లక్షణాలు కావలిస్తే అన్ని లక్షణాలని, వేర్వేరు దిశలలో గీతలు గీసి చూపవచ్చు. ఒకే ఒక నిబంధన. కొత్తగా గీసే గీత పాత గీతలన్నిటికి లంబ కోణంలో ఉండాలి. ఉన్నత శ్రేణి గణితంతో పరిచయం ఉన్నవారికి ఈ రకం లెక్కలు పరిపాటే!

గణితపరమైన ఈ రకం లక్షణాలు భౌతికమైన మన అనుభవాల మీద ఎలా ముద్ర వేస్తాయి అన్నది కొంచెం విచారిద్దాం. ముందుగా మన అనుభవంలో పొడుగు, వెడల్పు, లోతు అనే మూడు లక్షణాలు ఉన్న మన ప్రపంచమే తీసుకుందాం. ఈ ప్రపంచంలో నాలుగో లక్షణం ప్రవేశపెడితే దాని ప్రభావం మన ఆకళింపుకి ఎలా వస్తుంది? ఈ ప్రశ్నకి సమాధానం రెండే రెండు లక్షణాలు ఉన్న మరొక ఉదాహరణ ద్వారా చెబుతాను.

అమరచిత్ర కథల లాంటి బొమ్మల కథలు ఉన్న ఒక పుస్తకాన్ని తీసుకుందాం. ఈ రకం పుస్తకంలో ఒక పేజీలో ఉన్న బొమ్మలు ఎడా, పెడా, పైకీ, కిందికి కదులుతూన్నట్లు మనం ఊహించుకోగలం. కాని ఆ బొమ్మలు పేజీ లోంచి ఎగిరి కదలలేవు. ఎందువల్ల? కాగితపు ఉపరితలమే ఆ బొమ్మల విశ్వం. ఆ కాగితపు ఉపరితలం మీదే ఆ బొమ్మలు కదలగలవు. ఇప్పుడు ఈ కాగితం మీద ఉన్న ఒక బొమ్మని పీకి మరొక పేజీలోకి బదలాయించేమనుకుందాం. అప్పుడు బొమ్మల పుస్తకంలో ఉన్న పాత్రల కళ్లకి అకస్మాత్తుగా తమ ఎదుట ఉన్న ఒక శాల్తీ అదృశ్యం అయిపోయినట్లు, ఆ రెండవ పేజీలో ఆ బొమ్మ అకస్మాత్తుగా ప్రత్యక్షమైనట్లు అనిపిస్తుంది.

ఈ కథనం సరిగ్గా అర్థం కాకపోతే ఇప్పుడు మరొక ఉదాహరణ చెబుతాను. మన పురాణ గాథలలో మరో ప్రపంచంలో ఉన్న దేవుడు అకస్మాత్తుగా ఎదుట ప్రత్యక్షం అవటం, అదృశ్యం అవటం చూస్తూనే ఉన్నాము కదా. వీళ్లు స్వర్గలోకం నుండి మానవ లోకంలోకి ఏ విమానంలోనో రారు. అకస్మాత్తుగా ప్రత్యక్షం అవుతారు. పుస్తకంలో ఒక పేజీలో బొమ్మ అదృశ్యం అయిపోయి మరొక పేజీలో కనిపించటం కూడ ఇటువంటి సంఘటనే. మనం ఈ ప్రపంచాలని మానవలోకం, ఇంద్రలోకం, సత్యలోకం అని

పేర్లు పెట్టి పిలుస్తున్నాం. పోగుల వాదులు వీటిని సమాంతర విశ్వాలు (parallel universes) అని పిలుస్తున్నారు.

పోగుల వాదం, పొరల వాదం ఈ ధోరణిలో ఆలోచిస్తున్నాయి. అందుకనే ఈ వాదాలు ప్రతిపాదించిన వారిని మొదట్లో పిచ్చివాళ్లగా జమకట్టి పారేసేరు. “ఇది ఎడారిలో కనిపించే మృగతృష్ణలో నీళ్లు తాగటం వంటి వ్యర్థ ప్రయత్నమా లేక సమస్థ సిద్ధాంతానికి పునాది వెయ్యటమా?” అని ఎగతాళి చేసేరు. దీనిని ప్రయోగాత్మకంగా రుజువు చెయ్యలేరని సవాలు చేసేరు. ఇది భౌతిక శాస్త్ర సిద్ధాంతమా లేక మెట్ట వేదాంతమా అని ఈసడించుకున్నారు. ఈ ఎకసక్కెలు ఇలా ఉన్నప్పటికీ ఈ రెండు వాదాలు ఇంతో, కొంతో పరపతి పుంజుకోడానికి కారణం ఈ వాదాలని సమర్ధించే వారిలో ప్రతిష్ఠాత్మకమైన ఫీల్డ్ మెడల్ (Field Medal) పొందిన ఎడ్వర్డ్ విట్టెన్ (Edward Witten, 1951 -) వంటి గణిత శాస్త్రవేత్తలు ఉండడం ఒక కారణం కావచ్చు.

5. **రసాయన మూలకాల జన్మ రహస్యం**

ఇంతవరకు మన అనుభవాలకు అతీతమైన అణుప్రమాణంలో ఉన్న పదార్థం గురించి, ఊహకి అందని క్షీరసాగరాల వంటి భారీ “కట్టడాల” గురించి ప్రస్తావించేను. మన దైనందిన అనుభవాలకి అతి దగ్గరగా ఉన్న పదార్థాల సంగతి ఏమిటి? ఇరవైయ్యవ శతాబ్దంలో జరిగిన ఉత్కృష్టమైన ఆవిష్కరణలలో చెప్పుకోదగ్గది రసాయన మూలకాల జన్మ రహస్యం. మన చుట్టూ కనిపించే రాగి, వెండి, బంగారం, భాస్వరం, మొదలైన రసాయన మూలకాలు ఎలా పుట్టుకొచ్చేయి? మనం పీల్చే గాలిలో ఉన్న ఆమ్లజని, నత్రజని ఎక్కడనుండి వచ్చేయి? మన శరీర నిర్మాణానికి అవసరమైన కర్బనం, ఖటికం వగైరాలు ఎలా వచ్చేయి? ఆదికి ముందు ఉన్న శక్తి స్వరూపం తటాలున పేలి వ్యాప్తి చెందిందంటున్నారు కదా? ఊహకి అందనంత తాపోగ్రతతో, వికిరణం రూపంలో ఉన్న ఈ శక్తి నుండే అణువులు పుట్టుకొచ్చాయా? మొట్టమొదట పుట్టిన పదార్థపు అణువుల స్వరూప స్వభావాలు ఏమిటి? ఈ రకం ప్రశ్నలకి సమాధానాలు వెతికిన వ్యక్తులు జవాతిశయ భౌతిక శాస్త్ర వేత్తలు, ప్రాథమిక రేణువుల మీద పరిశోధనలు చేసిన వారు అవడం గమనించదగ్గ విషయం.

విశ్వం వ్యాప్తి చెందుతూ చల్లారడం మొదలయిన తరువాత సజాతీయంగా ఉన్న ఈ “వికిరణపు గంజి” అవకలనం (differentiate) చెందుతూ అక్కడక్కడ కరళ్లు కట్టడం మొదలు పెట్టింది. (గిన్నెలో వేడిగా ఉన్న నీటి ఆవిరి చల్లారుతున్నప్పుడు బొట్లు బొట్లుగా మూత మీద పడ్డ మాదిరిగా అని ఉపమానం చెప్పుకోవచ్చు.) ఉరమరగా 0.11 సెకండ్లు కాలం గడిచేసరికి చల్లారుతున్న విశ్వం తాపోగ్రత 30,000 మిలియన్ డిగ్రీల కెల్విన్ చేరుకుంది. అప్పటివరకు “గంజి” రూపంలో ఉన్న శక్తి పదార్థం రూపంలోకి

కొంత, తేజాణువుల రూపంలోకి కొంత మారడం మొదలయింది. అనగా పదార్థం నుండి కాంతి స్వయంప్రతిపత్తి పొంది ప్రకాశించడం మొదలయింది. పదార్థం స్థలం అంతటిలోను ఏకరీతిగా పిండి ఆరబోసినట్లు (అనగా, ఎగుడు దిగుళ్ళు లేకుండా, ఉండలు కట్టకుండా) పరుచుకోవడం మొదలు పెట్టింది. విశ్వం తాపోగ్రత 3,000 డిగ్రీల కెల్విన్ చేరుకునేసరికి కేవలం 14 సెకండ్లు కాలం పట్టింది. అప్పటివరకు ప్రోటానులు, నూట్రానుల రూపంలో ఉన్న పదార్థం నెమ్మదిగా “ఉండ కట్టి” అణుకేంద్రకాల రూపం సంతరించుకోవడం మొదలయింది. ఉదాహరణకి ఉదజని అణువులోని కేంద్రకంలో ఒక ప్రోటాను, దాని చుట్టు ఒక ఎలక్ట్రాను కనుక “వికిరణపు గంజి” నుండి ఉదజని అణువులు పుట్టడం తేలిక. రవిజని (helium) అణువు కేంద్రకంలో రెండు ప్రోటానులు, రెండు నూట్రానులు, వాటి చుట్టూ రెండు ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయి కనుక రెండు ఉదజని అణువులని, రెండు నూట్రానులని సంయోగపరచగలిగితే ఒక రవిజని తయారుకాడానికి అవకాశం ఉంది. బృహత్ విస్ఫోటనంలో ఉదజని, రవిజని పుట్టేయనడానికి మనకి సాక్ష్యాధారాలు ఉన్నాయి. ఉదాహరణకి విశ్వంలో మనకి కనిపిస్తున్న పదార్థంలో 73 శాతం ఉదజని, 25 శాతం రవిజని ఉన్నాయి. శేష ప్రశ్న ఏమిటంటే మిగిలిన రసాయన మూలకాలు ఎలా పుట్టేయి?

ఈ ప్రశ్నకి సమాధానం చెప్పినవారిలో అగ్రగణ్యులు కార్ల్ ఫాన్ వైత్సేకర్ (Carl Friedrich von Weizsäcker, 1912-2007), హాన్స్ బేతే (Hans Bethe, 1906-2005). తరువాత చెప్పుకోదగ్గ ప్రముఖులు జార్జ్ గేమావ్ (George Gamow, 1904-1968), రాల్ఫ్ ఆల్ఫర్ (Ralph Alpher, 1921-2007), రాబర్ట్ హెర్మన్ (Robert Herman, 1914-1997). చివరగా పేర్కొనదగ్గవారు రాబర్ట్ వేగోనర్ (Robert Wagoner, 1938 -), విలియం ఫౌలర్ (William Fowler, 1911-1995), ఫ్రెడ్ హోయల్. ఈ ముగ్గురు వేసిన లెక్క ప్రకారం విశ్వంలో ఉన్న ఉదజని, రవిజనులతో పోల్చి చూసినప్పుడు లిథియం పాలు అత్యల్పం, కేవలం 10^(-8); అనగా 100 మిలియన్లలో ఒక వంతు మాత్రమే! మిగిలిన మూలకాలన్నిటిని కలగలపగా వాటి వంతు లేశమాత్రం; అనగా, కేవలం 10^(-11) మాత్రమే.

ఈ హేమాహేమీల పరిశ్రమ వల్ల మనం నేర్చుకున్న సంగతులని టూకీగా చెబుతాను. మహా విస్ఫోటనంలో ఉదజని (అణు సంఖ్య=1) , రవిజని (అణు సంఖ్య=2), లేశమంత లిథియం (అణు సంఖ్య=3) పుట్టిన తరువాత చల్లబడిపోతున్న విశ్వంలో మిగిలిన రసాయన మూలకాలు తయారవడానికి సరిపడా శక్తి సన్నగిల్లిపోయింది. అణు రూపంలో ఉన్న ఉదజని, రవిజని మేఘాలు ఉరమరగా ఒక బిలియన్ సంవత్సరాలపాటు మనుగడ సాగించిన తరువాత నెమ్మదిగా గురుత్వాకర్షక శక్తి ప్రభావానికి అవి సంకోచించి, వాటి సాంద్రత పెరగగా, అవి వేడెక్కి, కొన్ని మిలియన్ కెల్విన్ డిగ్రీల వేడికి చేరుకొని, వాటిలో కిణ్వ ప్రక్రియ (nuclear reaction) రగులుకోగా, నక్షత్రాల రూపంలో

ప్రకాశించడం మొదలుపెట్టేయి. ఇలాంటి మొదటి తరం నక్షత్రాల గర్భాలలో ఉన్న వేడికి మరికొన్ని రసాయన మూలకాలు రకరకాల మార్గాల వెంబడి ఉత్పన్నం అయేయి. ఉదాహరణకి, ఆవర్తన పట్టిక (The Periodic Table) లో రెండవ గదిలో ఉన్న రవిజని కేంద్రకం (nucleus) లో రెండు ప్రోటానులు, రెండు నూట్రానులు ఉన్నాయి. ఇటువంటి రవిజని (అణు సంఖ్య=2, అణు భారం=4) కేంద్రకాలు రెండు గుద్దుకొన్నప్పుడు రెండు రకాల బెరిలియం (అణు సంఖ్య=4, అణు భారాలు=8,9) కేంద్రకాలు ఉత్పన్నం అవుతాయి. అణు భారం 8 ఉన్న బెరిలియం అల్పజీవి; ఇది తయారయిన ఉత్తర క్షణంలోనే విచ్చిన్నం అయిపోయి తిరిగి రెండు రవిజని కేంద్రకాలుగా విడిపోతుంది. అదే ఉత్తర క్షణంలో ఆ చుట్టుపట్ల మరొక రవిజని కేంద్రకం తిరుగాడుతూ ఉంటే ఆ మూడు రవిజని కేంద్రకాలు సమ్మిశ్రమం అయిపోయి ఒక కర్బనం (అణు సంఖ్య=6, అణు భారం=12) కేంద్రకంగా మారిపోతాయి. ఇదొక మార్గం. నక్షత్ర గర్భంలో సరిపడా వేడి ఉంటే ఈ కర్బనం యొక్క కేంద్రకం శిధిలం అయిపోయి, మెగ్నీసియం (అణు సంఖ్య=12), సోడియం (అణు సంఖ్య=11), నియాన్ (అణు సంఖ్య=10), ఆమ్లజని (అణు సంఖ్య=8) పుట్టుకకి దోహదం చేస్తాయి. ఇది మరొక మార్గం. లేదా, ఒక కర్బనం రెండు ఉదజని అణువులతో కలసి ఒక నత్రజని (అణు సంఖ్య = 14) పుడుతుంది. చూసేరా! ఇలా పుట్టుకొస్తున్న మూలకాలు “అణు సంఖ్యల వారీగా” పుట్టడం లేదు. ఇప్పుడు రెండు ఆమ్లజని కేంద్రకాలు కలవగా గంధకం, భాస్వరం తయారవుతాయి. ఇలా ఈ పద్ధతి ప్రకారం ఇనుము (అణు సంఖ్య=26) వరకు ఈ ప్రక్రియ నిరాఘాటంగా జరిగిపోతుంది.

ఇలా నక్షత్ర గర్భాల “కొలిమి”లో తయారయిన మూలకాలు ఆ “మాతృ తారలు” బృహన్నవ్యతారలు (supernovae) గా మారి, పేలిపోయినప్పుడు ఆ పదార్థం అన్ని దిశలలోకీ వెదజల్లబడుతుంది. ఇది రెండవ తరం తారలకి ముడి పదార్థం అవుతుంది. ఇటువంటి పేలుడు జరిగిన సమయంలో ఆ తారల తాపోగ్రత అత్యున్నత స్థాయికి చేరుకోవడం వల్ల, ఆ వేడిలో, ఆవర్తన పట్టికలో ఇనుము తరువాత వచ్చే బరువైన మూలకాలు మరికొన్ని (ఉదా. రాగి, యశదం, వెండి, యురేనియం, వగైరా) తయారవుతాయి. కనుక మలి తరం నక్షత్రాలలో మూలకాలు అన్నీ కనిపిస్తాయి. అవే మనకి భూమి మీద లభ్యం అవుతున్నాయి.

ఇలా నక్షత్ర గర్భాలలో పుట్టిన ఆమ్లజని, నత్రజని, కర్బనం, బ్రహత్ విస్ఫోటనంలో పుట్టిన ఉదజని తో కలసి ప్రాణి పుట్టుకకి దోహదపడ్డాయి. ఈ కోణంలో చూస్తే మన భూమి (తదితర గ్రహాలు) ఒక శ్మశానవాటిక; చచ్చిపోయిన నక్షత్రాలు కాలిపోగా మిగిలిన బూడిద!! చెత్తతో పోగయిన చెత్తకుండీ! పంకిలం నుండి పద్మం పుట్టినట్లు ఇలాంటి విశ్వధూళితో తయారయిన చెత్త పోగు నుండి పుట్టిన ప్రాణి పరిణతి చెంది మానవ జాతి అవతరించి విశ్వరహస్యం ఛేదిస్తానని గంతులు వేస్తూ ఉంటే ఇంతకంటె అబ్బురం ఏముంటుంది?

6. స్థూల గుళిక వాదం

6.1 బోస్-అయిన్‌స్టయిన్ ముద్ద (Bose-Einstein Condensate)

భారతదేశంలో సత్యేంద్రనాథ్ బోస్ (Satyendranath Bose, 1894-1974) తేజాణువులని లెక్కపెట్టే పద్ధతి ఒకటి కనిపెట్టి, అది ఉపయోగించి కర్రి కాయ (black body) నుండి వెలువడే వికిరణానికి భాష్యం చెప్పి, జెర్మన్ భాషలో రాసిన ఆ పరిశోధనా పత్రం మీద అభిప్రాయం కొరకు అయిన్‌స్టయిన్ కి పంపేరు. ఆ పత్రంలో వ్యక్తపరచిన మౌలికాంశాల విలువని గుర్తించి, ఆ పత్రాన్ని ప్రచురణకి సిఫార్సు చేస్తూ ఆ పత్రం లోని ఉహలని ఆధారంగా చేసుకుని తను కూడా రెండు పత్రాలు ప్రచురించేరు (Bose, 1924; Einstein 1924, 1925).

ఈ సందర్భంలో పరమాణు రేణువుల గురించి రెండు మాటలు చెప్పుకోవాలి. స్థూలంగా విచారిస్తే పరమాణు రేణువులలో రెండు జాతులు ఉన్నాయి. ఒక జాతిని ఫెర్మియానులు (అనగా, ఫెర్మి జాతివి). రెండవ జాతి బోసానులు (బోసు జాతివి). ఫెర్మియాన్ జాతి రేణువులన్నిటికి “వాటం” (spin) అనే లక్షణం ఉంటుంది. బోసానులకి ఈ లక్షణం ఉండదు. ఉపమానానికి ఫెర్మియాన్ జాతి రేణువులకి రెండు చేతులు ఉన్నట్లు, వాటిల్లో కొన్ని ఎడం చేతి వాటం, కొన్ని కుడిచేతి వాటం అని ఊహించుకోవచ్చు. బోసానులకి ఒకే ఒక చెయ్యి ఉంటుంది; కనుక అవి అన్ని ఒక్కలాగే ఉంటాయి. ఎలక్ట్రానులు ఫెర్మియాన్ జాతివి, తేజాణువులు (ఫోటానులు) బోసాను జాతివి. ఈ చిన్ని తేడా వల్ల వాటిని లెక్క పెట్టేటప్పుడు చిన్న మెలిక వస్తుంది. ఉదాహరణకి రెండు కుర్చీలు A, B లలో రెండు ఎలక్ట్రానులు a, b లని అమర్చాలనుకుందాం. ఇప్పుడు (A లో a), (B లో b) ఒక అమరిక; (A లో b), (B లో a) రెండవ అమరిక. అంతే. ఇప్పుడు రెండు కుర్చీలు A, B లలో రెండు తేజాణువులు a, a లని అమర్చాలనుకుందాం. ఇప్పుడు (A లో aa), (B ఖాళీ) ఒక అమరిక, (A లో a), (B లో a) రెండవ అమరిక, (A ఖాళీ), (B లో aa) మూడవ అమరిక. ముఖ్యంగా గమనించవలసినది ఏమిటంటే ఒక కుర్చీలో ఎన్ని తేజాణువులనైనా కుక్కవచ్చు కానీ ఒకొక్క కుర్చీలో ఒక్క ఎలక్ట్రానే పడుతుంది.

బోస్-అయిన్‌స్టయిన్ ముద్ద గురించి టూకీగా నాలుగు మాటలలో చెప్పడం కష్టం. రెండు కోణాలలో ప్రయత్నిస్తాను.

మొదటి కోణం. పదార్థం స్థితి నాలుగు రకాలుగా ఉంటుంది: ఘన స్థితి, ద్రవ స్థితి, వాయు స్థితి, ప్లాస్మా స్థితి. ఘన స్థితిలో ఉన్న మంచుని వేడి చేస్తే నీరు అవుతుంది. ద్రవ స్థితిలో ఉన్న నీటిని వేడి

చేస్తే ఆవిరి అవుతుంది. వాయు స్థితిలో ఉన్న ఆవిరిని విపరీతంగా వేడి చేస్తే అందులోని అణువులన్నీ వాటి అణురూపాన్ని వదలిపెట్టి “ఎలక్ట్రాను గంజి”లా తయారవుతాయి. అదే ప్లాస్మా స్థితి. ఈ నాలుగే కాకుండా అయిదో స్థితి కూడా ఉందంటున్నారు; దాని పేరే “బోస్-అయిన్‌స్టయిన్ ముద్ద.”

రెండవ కోణం. పదార్థాన్ని బాగా - పరమ శూన్యం వరకు - చల్లబరిస్తే? అనగా 0 డిగ్రీలు కెల్విన్ దరిదాపుల్లోకి (0 డిగ్రీలు కెల్విన్ = -273.15 సెల్సియస్ డిగ్రీలు) చల్లబరిస్తే? అప్పుడు అణువులు రేణువులలా కాకుండా తరంగాలులా ప్రవర్తిస్తాయి. అప్పుడు ఏ తరంగం ఏ రేణువుదో చెప్పడం అన్ని సందర్భాలలోనూ సాధ్యం కాదు. ఈ రేణువులు “ఫెర్మియాను” జాతివి అయితే ఏ తరంగం ఎవరిదో విడమర్చి చెప్పడానికి కొంత వెసులుబాటు ఉంది. కానీ ఈ రేణువులు “బోసాను” జాతివి అయితే విడమర్చి చెప్పడానికి వెసులుబాటు లేదు. అనగా ఆ బోసాను జాతి రేణువులన్నీ (ఇక్కడ తేజాణువులు అని చదువుకోవాలి) ఒకే ఒక “ముద్ద” లా కనిపిస్తాయి. అదీ బోస్-అయిన్‌స్టయిన్ ముద్ద అంటే!

బోస్-అయిన్‌స్టయిన్ ముద్దకి విలక్షణమైన లక్షణాలు ఉన్నాయి. ఇది ఘనం కాదు, ద్రవం కాదు, వాయువు కాదు, ప్లాస్మా కాదు. ఇది అయిదో రకం స్థితి. ఈ స్థితిలో ఉన్నప్పుడు దీనికి స్నిగ్ధత (viscosity) ఉండదు; అందుకని దీనిని “అతిద్రవర్థం” (superfluid) అంటారు. ద్రవ రూపంలో ఉన్న రవిజనిని ఇంకా చల్లబరిచితే 2 డిగ్రీలు కెల్విన్ దగ్గర అది అతిద్రవర్థం స్థితిని చేరుకుంటుంది; అక్కడ దాని స్నిగ్ధత నశిస్తుంది. ఈ ఊహని ప్రయోగాత్మకంగా రుజువు చేసిన ఘనత పాయిటర్ కపిటజా (Piotr Kapitza, 1894-1984), జాక్ ఏలన్ (Jack Allen, 1908-2001), డాన్ మిసనర్ (Don Misener, 1911-1996) లకి చెందుతుంది. ద్రవ రూపంలో ఉన్న రవిజని 2.18 డిగ్రీలు కెల్విన్ దగ్గర అతిద్రవర్థం లక్షణాలు ప్రదర్శిస్తుందని వీరు రుజువు చేసేరు.

6.2 అతీతవాహకత్వం (Superconductivity)

అతీతవాహకత్వం అనే లక్షణాన్ని 1911 లోనే గుర్తించిన వ్యక్తి (Heike Kamerlingh Onnes, 1852-1926). పాదరసాన్ని 4 డిగ్రీల కెల్విన్ వరకు చల్లబరిచే సరికి అది విద్యుత్ ప్రవాహానికి కలిగించే అవరోధం పూర్తిగా నశించి పోయింది. విద్యుత్ ప్రవాహం మొదలయిన తరువాత ప్రవాహాన్ని ముందుకి తొయ్యడానికి బేటరీ లేకపోయినా ప్రవాహం కొనసాగుతూనే ఉంది! ఈ లక్షణాన్ని మరికొన్ని ఇతర లోహాలు కూడా ప్రదర్శించడంతో దీని మీద కుతూహలం పెరిగింది. ఒక ప్రత్యేకమైన లక్షణాన్ని గమనించడం ఒకరైతే, దాని వెనక ఉన్న భౌతిక ప్రక్రియకి భాష్యం చెప్పినది జాన్ బార్డీన్ (John

Bardeen, 1908-1991), లియాన్ కూపర్ (Leon Cooper, 1930 -), జాన్ ష్రైఫర్ (John Schrieffer, 1931-2019). వీరు ఇచ్చిన వివరణ ఈ కింది విధంగా కొనసాగుతుంది.

అత్యంత శీతల వాతావరణంలో విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని మోసుకెళ్లే ఎలక్ట్రానులు జంటలు కట్టి ప్రయాణం చేస్తాయి. అలాంటి సందర్భంలో వాటి "ఎడం చేతి వాటం", "కుడి చేతి వాటం" (spin ని) ఒకదానిని ఒకటి రద్దు చేసుకుని, ప్రతి జంట, ఏ వాటం చూపకుండా బోసానుల వలె మెలుగుతాయి. అనగా అత్యంత శీతల వాతావరణంలో ఫెర్మియానులైన ఎలక్ట్రాను జంటలు (వీటిని కూపర్ జంటలు అంటారు) తమ స్వధర్మాన్ని మరిచిపోయి బోసానులు వలె ప్రవర్తిస్తాయి.

పైన ఉటంకించిన వాదం అనతికాలంలోనే బాలారిష్టాలని ఎదురుకుంది. జెర్మనీలో, 1986 లో, జార్జి బెడ్నోర్జ్ (Georg Bednorz, 1950 -), అలెగ్జాండర్ మ్యుల్లర్ (Alexander Müller (1927 -) ఒక రకం మృణ్మయం (ceramic, లేంతనం, బేరియం, రాగి కలిసిన మిశ్రమ లోహపు భస్మం) 35 డిగ్రీల కెల్విన్ దగ్గరే అతీతవాహకత్వం చూపెడుతున్నదని ప్రకటించారు. తరువాత, 1987లో, పాల్ చూ (Paul Chu, 1941 -) 93 డిగ్రీల కెల్విన్ దగ్గర అతీతవాహకత్వం చూపెట్టే మృణ్మయ పదార్థం (వైట్రియం, బేరియం, రాగి కలిసిన మిశ్రమ లోహపు భస్మం) ఉందని ప్రకటించారు. ద్రవరూపంలో ఉన్న నత్రజనితో 93 డిగ్రీల కెల్విన్ చేరుకోవచ్చు కనుక అతీతవాహకత్వం మానవ అవసరాలకి అందుబాటులోకి వచ్చే సాంకేతిక విద్య అని ఆశ పుట్టింది. ఈ దిశలో జరిగుతున్న పరిశోధనల ఫలితాలు రాబోయే దశాబ్దాలలో అందుబాటులోకి రావచ్చు.

6.3 లేసర్లు (Lasers)

గుళిక వాదపు పర్యవసానంగా మనకి లభించిన ఉపకారణాలలో లేసర్లు చెప్పుకోదగ్గవి. ఈ రోజుల్లో వైద్య రంగంలో, వ్యాపార రంగంలో, వైజ్ఞానిక పరిశోధనా రంగంలో, పరిశ్రమల రంగంలో, ఇలా ఎటు చూసినా లేసర్ల వాడకం విపరీతంగా కనబడుతూనే ఉంది. లేసర్ అంటే ఏమిటి? A laser is a device that emits a beam of electromagnetic radiation that is always monochromatic, collimated and coherent in nature. అనగా, లేసర్ నుండి వెలువడే విద్యుదయస్కాంత వికిరణం (ఉదా. కాంతి) ఒకే ఒక రంగు (monochromatic) లో ఉంటుంది. అనగా, ఆ విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు అన్ని ఒకే తరచుదనం (frequency) తో ఉంటాయి. ఆ కాంతి పుంజం లోని తరంగాలన్నీ జట్టు కట్టినట్లు ఒకే సారి పైకి లేచి, ఒకే సారి కిందకి పడుతూ పొందిక (coherent) గా ఉంటాయి. అనగా, ఆ విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు అన్నీ ఒకే కళ (phase) లో ఉంటాయి. ఆ కిరణ వారం (beam of light) నాలుగు పక్కలకీ చెదిరి పోకుండా, సన్నటి చీపురుపుల్ల మాదిరి (collimated) ఒకే

దిశలో ప్రయాణం చేసేటట్లు అద్దాలు అమర్చుతారు. అందుచేత లేసర్ నుండి వెలువడే కిరణాలు తీక్షణంగా ఉంటాయి; ఇవి తగిలితే శరీరం, వస్తువులు కాలే ప్రమాదం ఉంది. కనుక లేసర్ ని వాడేటప్పుడు జాగ్రత్తగా ఉండాలి.

ఇప్పుడు లేసర్ ఎలా పని చేస్తుందో టూకీగా సమీక్షిస్తాను. ఇది అర్థం అవ్వాలంటే గుళిక వాదంతో పరిచయం తప్పనిసరి! అణువులని ఉత్తేజ పరచినప్పుడు వాటిలోని ఎలక్ట్రానులు ఎక్కువ శక్తిని సంతరించుకుని ఎత్తయిన శక్తి శ్రేణి (higher energy level) లోకి ఎగురుతాయి. అక్కడ ఎక్కువ కాలం ఉండలేక తిరిగి తమ స్వస్థానంలోకి పడిపోడానికి ప్రయత్నిస్తూ ఉంటాయి. ఇలా ఉన్నత శక్తి శ్రేణి నుండి నిమ్న శక్తి శ్రేణికి ఎలక్ట్రానులు పడిపోయినప్పుడు ఆ రెండు శ్రేణుల మధ్య ఉన్న తేడా DE ప్రాప్తికి శక్తి వికిరణం రూపంలో విడుదల అవుతుంది. ఇప్పుడు DE = hf సూత్రం ప్రకారం ఆ వికిరణం యొక్క తరచుదనం (రంగు) నిర్ధారణ అవుతుంది. ఈ వికిరణం సూక్ష్మతరంగాలు (microwaves) రూపంలో ఉంటే దానిని maser (microwave amplification by stimulated emission of radiation) అంటారు. ఈ వికిరణం కాంతి రూపంలో ఉంటే దానిని laser (light amplification by stimulated emission of radiation) అంటారు. ఇప్పుడు లేసర్ మీద దృష్టి కేంద్రీకరిద్దాం. పైన చెప్పిన విధంగా పుట్టుకొచ్చిన కాంతి కిరణాలు బయట నాలుగు దిశలలోకి చెల్లాచెదురు అయిపోకుండా చుట్టూ అద్దాలు పెట్టి కట్టుదిట్టం చేస్తే అవి అంతర్గతంగా పదే పదే పరావర్తనం చెంది, చుట్టుపక్కల ఉన్న అణువులని ఢీకొని రెచ్చగొడతాయి. అప్పుడు ఇదే ప్రక్రియ మళ్ళా జరిగి మరికొన్ని కాంతి కిరణాలు పుట్టుకొస్తాయి. ఇలా తంబ తంబలుగా పుట్టుకొచ్చిన కిరణాలని చిన్న బెజ్జం ద్వారా బయటకి వదిలితే అవి బలమైన కాంతి పుంజంగా బయటకి వచ్చి సన్నటి కిరణవారంలా ఒకే దిశలో ప్రయాణం చేస్తాయి. కాంతి లోని తేజాణువులు బోసాను జాతివి కనుక అవి (ఎలక్ట్రానులలా ఒంటెత్తుగా ఉండకుండా) జట్టు కడతాయి. ఈ జట్టు అంతా ఒకే సారి పైకి లేచి కింద పడుతూ ఉంటుంది కనుక దీనిని పొందిక కాంతి (coherent light) అంటారు.

లేసర్ల వంటి ఉపకరణాల నిర్మాణం సుసాధ్యమే అని 1916 లోనే అయిన్‌స్టయిన్ మొట్టమొదట జోస్యం చెప్పేరు. ఈ జోస్యాన్ని సాకారం చేసిన ఘనత సోవియట్ యూనియన్ కి చెందిన అలెగ్జాండర్ ప్రోఖోరోవ్, (Aleksandr M. Prokhorov, 1916-2002), నికొలాయ్ బాసోవ్ (Nikolay G. Basov, 1922-2001), అమెరికాకి చెందిన చార్ల్స్ టౌన్స్ (Charles Townes, 1915-2015) లకి చెందుతుంది. మే 1952 లో జరిగిన ఒక సమావేశంలో ప్రోఖోరోవ్ పర్యవేక్షణలో పి. హెచ్. డి పట్టా కోసం పని చేస్తున్న బాసోవ్ తన ఊహని సమర్పించేడు. తరువాత 1954 వరకు ఆ పత్రం ప్రచురణ చెందలేదు. ఈ లోగా అమెరికాలో కొలంబియా విశ్వవిద్యాలయంలో పనిచేస్తున్న టౌన్స్, ఒక జేమ్స్ గోర్డన్ (James P. Gordon, 1928-2013) అనే వైద్యుడు, హెర్బ్ జీగ్లర్ (Herbert J. Ziegler) అనే ఒక పి. హెచ్. డి పట్టా

కోసం పని చేస్తున్న విద్యార్థి "మేసర్" అనే పరికరాన్ని నిర్మించి ఆ ఫలితాలని ప్రచురించేరు. ఈ మేసర్ లోపుట్టిన తరంగాలు ఎక్కువ పాటవం (power) తోటి ఉండడమే కాకుండా ఆ తరంగాలన్నీ ఒకే తరచుదనం (frequency) తోటీ, ఒకే కళ (phase) తోటీ జట్టాపట్టాలు వేసుకున్నట్లు పుట్టేయి.

మేసర్ నుండి లేసర్ కి గెంతు వేయడం చాల తేలిక. ఈ దిశలో పుంఖానుపుంఖంగా పరిశోధన పత్రాలు వెలువడ్డాయి (Theodore Maiman, 1927-2007; Arthur Schawlow,1921-1999). ఈ సందర్భంలో లేసర్ ని కనిపెట్టినది ఎవరు అనే విషయంపై తగువులాటలు కూడా జరిగేయి.

6.4 అర్ధవాహకులు, ట్రాన్సిస్టర్లు (Semiconductors, Transistors)

అతీతవాహకత్వం ఇంకా ప్రయోగశాలలకే పరిమితం కానీ అర్ధవాహకులు (semiconductors) మన దైనందిన జీవితాన్నే పూర్తిగా మార్చివేశాయి! ఈ రోజుల్లో ట్రాన్సిస్టర్లు, చిప్పులు (chips), కంప్యూటర్లు, సెల్ ఫోనులు, లేసర్లు, వగైరాలు లేకుండా మనకి రోజు గడవదు కదా! ఈ ఉపకారణాలన్నీ ప్రత్యక్షంగానో, పరోక్షంగానో అర్ధవాహకులు అనే ముడి పదార్థం మీద, గుళిక వాదం అనే సాంకేతిక పరిజ్ఞానం మీద ఆధారపడ్డవే. ఏమిటీ అర్ధవాహకులు?

ఆవర్తన పట్టికలో కనబడే దరిదాపు 110 రసాయన మూలకాలలో ఉరమరగా 94 లోహాలు (metals), 16 అలోహాలు (non-metals) అని విడగొట్టేరు కానీ మధ్యస్థంగా ఉన్న 9 మూలకాలు ఇటు లోహాల లక్షణాలు, అటు అలోహాల లక్షణాలు కూడా చూపెడుతూ ఉంటాయి. లోహాలకుండే ముఖ్యమైన లక్షణాలలో ఒకటి విద్యుత్ వాహకత్వం - అంటే లోహాలు విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని తమగుండా తేలికగా పోనిస్తాయి. అందుకనే వీటిని "వాహకులు" (conductors) అని కూడా అంటారు. ఉదాహరణకి బంగారం, వెండి, రాగి, అల్లూమినం ఉత్తమమైన వాహకులు. అందుకనే విద్యుత్ పరికరాల్లో రాగిని, అల్లూమినంని విరివిగా వాడతారు. అలోహాలకుండే ముఖ్యమైన లక్షణాలలో ఒకటి విద్యుత్ వాహకత్వం లేకపోవడం. అందుకనే వీటిని "నిరోధకులు" (insulators) అని కూడా అంటారు. ఆవర్తన పట్టికలో కుడి చివర ఉన్న మూలకాలు మంచి నిరోధకులు; కానీ రబ్బరు, కర్ర, వగైరాలు వాడుకలో ఉన్న మంచి నిరోధకులు. మధ్యే మార్గంలో ఉన్న కొన్ని మూలకాలు పక్కా వాహకులూ కాదు, పక్కా నిరోధకులూ కాదు. ఉదాహరణకి 32వ గదిలో ఉన్న జెర్మేనియం, 14 గదిలో ఉన్న సిలికాన్ నిష్కల్మషమైన, స్వచ్ఛ స్థితిలో ఉన్నప్పుడు నిరోధకులే అయినప్పటికీ, వాటిలో కాసింత కల్మషం కలిసేసరికి కాసింత వాహకత్వం ప్రదర్శిస్తాయి. ఈ రకం పదార్థాలని అర్ధవాహకాలు (semiconductors) అంటారు. కనుక నిరోధకాలైన పదార్థాలలో మనం కృతకంగా కలిపే కల్మషం పాలుని మన అదుపు ఆజ్ఞలలో పెట్టుకోగలిగితే వాటిలో ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని కూడా మన

అదుపు ఆజ్ఞలలో పెట్టుకోవచ్చు. ఈ సూత్రం ఉపయోగించి జాన్ బార్డీన్ (John Bardeen, 1908-1991), విలియం షాక్లే (William Shockley, 1910-1989), వాల్టర్ బ్రాటైన్ (Walter Brattain, 1902-1987) అనే ముగ్గురు ట్రాన్సిస్టర్ (transistor) అనే ఉపకరణాన్ని తయారు చేసి "ఎలక్ట్రానిక్స్" రంగంలో ఒక పెను విప్లవానికి శ్రీకారం చుట్టేరు. అంతవరకు విద్యుత్ వాకేతాలు (signals)ని ప్రవర్ధమానం (amplify) చెయ్యడానికి శూన్య నాళికలు (vacuum tubes) ఉపయోగించేవారు. గాజుతో చేసిన ఈ నాళికలు తేలికగా పగిలిపోయేవి. వీటిలో ఎలక్ట్రాన్ ప్రవాహం పుట్టించడానికి లోపల ఉన్న లోహపు తంతువుని తెల్లటి తెలుపు వచ్చే వరకు వేడి చేసేవారు. కనుక శూన్య నాళికలు త్వరగా వేడెక్కిపోయేవి, త్వరగా తంతువులు మాడిపోయేవి. అంతే కాదు. ఈ గొట్టాలతో చేసిన పరికరాలు ఎంతో స్థలం ఆక్రమించేవి. ఎలక్ట్రానిక్ పరిశ్రమ ఇలా ఇబ్బంది పడుతున్న తరుణంలో ట్రాన్సిస్టర్ దేవదూతలా వచ్చి రక్షించింది. ఈ ట్రాన్సిస్టర్ వెనక ఉన్న దన్ను గుళిక వాదం ప్రసాదించిన సాంకేతిక పరిజ్ఞానం.

శూన్య నాళికలు (vacuum tubes) దొండకాయ నుండి కొబ్బరికాయంత పరిమాణంలో ఉంటే, మొదటి తరం ట్రాన్సిస్టర్లు ఒక పైసా మీద పది చొప్పున పట్టేవి. వీటిలో కదిలే భాగాలు లేవు, విరిగిపోయే ప్రమాదం లేదు. నమ్మకంగా పని చేసేవి. అతి కొద్దిగా వేడెక్కేవి. కనుక 1960 దశకం వచ్చేసరికి శూన్య నాళికల శకం అంతం అయిపోయిందని చెప్పవచ్చు. ఇటుపైన ట్రాన్సిస్టర్ల ఎదుగుదలకి కావాలసిన "తోపుడు" సాంకేతిక (technology) రంగం నుండి వచ్చింది మొదట్లో ఒక ట్రాన్సిస్టర్ ని ఒక విద్యుత్ వలయంలో వాడాలంటే విడివిడి భాగాలని రాగి తీగలతో సంధానపరచి, టంకం వేసి అతికేవారు. కాలక్రమేణా విద్యుత్ వలయం అంతటినీ - అందులో ఉన్న ట్రాన్సిస్టర్లతో సహా - ఒకే సారి ఒకే సిలికాన్ చితుకు (chip) మీద పోత పోసినట్లు తయారు చెయ్యడం నేర్చుకున్నారు. చితుకు అంటే సన్నగా తరిగిన సిలికాన్ స్ఫటికంలో చిటికెన వేలు గోరంత చిన్న ముక్క! ఇటువంటి పరికరాలకి ఏకీకృత విద్యుత్ వలయం (integrated circuit) కి 1957 లో రూపకల్పన చేసిన వ్యక్తి జీన్ హోర్ని (Jean Hoerni, 1924-1997) అయితే, 1958 లో నిర్మించిన వ్యక్తి రాబర్ట్ నోయిస్ (Robert Noyce, 1927-1990). ఇదే రాబర్ట్ నోయిస్ తన సహోద్యోగి అయిన గోర్డన్ మూర్ (Gordon Moore, 1929 -) తో కలిసి ఇంటెల్ (Intel) అనే పారిశ్రామిక వ్యవస్థని స్థాపించేరు. ఇక్కడ టెడ్ హాఫ్ (Ted Hoff, 1937 -) వీరిరువురితో కలిసి ఒకే ఒక సిలికాన్ చితుకు మీద ఒక కంప్యూటర్ నే నిర్మించవచ్చు అని రుజువు చేసేరు. ఈ "మైక్రోప్రాసెసర్" అని పిలవబడే బుల్లి కంప్యూటర్ పారిశ్రామిక రంగంలో పెను విప్లవమే సృష్టించింది!!

ముక్తాయింపు

ఇరవైయవ శతాబ్దం భౌతికశాస్త్రపు వికాసానికి స్వర్ణయుగం. ఒక్క శతాబ్దపు కాల పరిమితిలో భౌతికశాస్త్రం ఒక వటవృక్షంలా ఎన్నో శాఖలతో విస్తరించింది. వీటిలో కొన్నింటి మీద మాత్రమే దృష్టి సారించి, వాటి చరిత్రని క్లుప్తంగా ఇక్కడ చర్చించడం జరిగింది. క్లుప్తత కోసం మరెన్నో ఆసక్తికరమైన విషయాలని విస్మరించడం జరిగింది. ఉదాహరణకి భౌతికశాస్త్రపు పరిధికి సమీపంలో ఉన్న స్థాపత్యం (engineering), సాంకేతికం (technology) వంటి పలవలని అతి కొద్దిగా స్పర్శించడం జరిగింది తప్ప లోతుగా వెళ్ళలేదు. సాధ్యమైనంత వరకు గణిత సమీకరణాలు లేకుండా కథ చెప్పడానికి ప్రయత్నం జరిగింది. ఈ వ్యాసంలో ఉటంకించిన విషయాల మీద ఇంకా లోతుగా అధ్యయనం చేయాలనుకునే "విద్యార్థులు" సంప్రదించడానికి ఉపయోగపడే ప్రామాణిక పరిశోధనా పత్రాలు కావాలనుకున్నవారికి వ్యాసంలో ఆయా పరిశోధకుల పేర్లు ఇచ్చేను. ఈ వ్యాసాన్ని రాయడానికి ముఖ్యంగా సంప్రదించిన మూలాలు కొన్ని ఈ దిగువ జాబితాలో ఉన్నాయి.

ఉపయుక్త మూలాలు

- Lisa Randell, Knocking on Heaven's Door, Harper Collins, 2011
- Jose Manuel Sanchez Ron, "The World after the Revolution: Physics in the Second Half of the Twentieth Century," Frontiers of Knowledge, 2009
- T. D. Singh and Ravi Gomatam (Eds.) Synthesis of Science and Religion: Critical Essays and Dialogs, The Bhaktivedanta Institute, San Francisco, USA 1988
- Richard P. Feynman, QED: The Strange Theory of Light and Matter, 1986
- Steven Weinberg, The First Three Minutes, Basic Books, New York, 1977
- George Gamow, Biography of Physics, Harper & Row, New York,1961
- Janes A. Coleman, Relativity for the Layman, Signet, New York, 1958
- George Gamow, The Creation of the Universe, The Viking Press, New York,1952
- వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు, లోలకం, http://lolakam.blogspot.com/
- వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు, విశ్వస్వరూపం,
- వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు, గుళిక రసాయనం (క్వాంటం కెమెస్ట్రీ),
- వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు, చుక్కల్లో చంద్రుడు: చంద్రశేఖర్ చరిత్ర,
- వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు, ప్రకృతిలో చతుర్విధ బలాల బలాబలాలు, ఈమాట, సెప్టెంబర్ 2005 https://eemaata.com/
- వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు, విశ్వం ఏ ఆకారంలో ఉంది?, ఈమాట, సెప్టెంబర్ 2009
- వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు, సమస్త సిద్ధాంతం అవసరమా?, ఈమాట, జూలై 2014
- వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు, విశ్వస్వరూపం: టెలిస్కోపులు, ఈమాట, సెప్టెంబర్ 2014

- ఈమాట, అక్టోబర్, నవంబర్ 2021, https://eemaata.com/em/issues/202110/26936.html

19. సాంకేతిక పదజాలం

అంజనం = antimony

అంజన గంధకిదము = antimony sulphide

అంతర్బుద్ధి = intuition

అఘాత వర్ధనీయత = malleability

అణువు = atom

అణు శక్తి = atomic energy.

అత్యూద = ultraviolet

అత్యూద వినిపాతం = ultraviolet catastrophe

అతీతవాహకత్వం = Superconductivity

అధో భ్రమణం = spin-down

అనంతం = infinity

అనిర్ధారిత సూత్రం = uncertainty principle

అనుఘుడి దిశ = clockwise direction

అనుపాత స్థిరాంకం = constant of proportionality

అనులోమ అనుపాతం = direct proportion

అభిజ్ఞాత ఉత్పాతాలు = cognitive cataclysms

అయస్కాంత క్షేత్రం = magnetic field

అయస్కాంత తత్త్వం = magnetism

అర్ధవాహకాలు = semiconductors

అర్ధాయుస్సు = half-life

అల్యూమినం = aluminum

అలోహములు = non-metals

అవకలన సమీకరణం = differential equation

అసమీకరణం = inequality

అశ్వ పాటవం” = horse power

ఆక్సీకరణం = oxidation

ఆమ్లజని = Oxygen

ఆమ్లజనిదములు = oxides

ఆవర్తన పట్టిక = The Periodic Table

ఉత్పాదకి = generator
ఉత్తేజిత వ్యర్థాలు = radioactive wastes
ఉదకర్బనాలు = hydrocarbons
ఉదజని = hydrogen
ఉదజని గంధకిదము = hydrogen sulfide
ఉపరిస్థాపకాలు =msuperposition of states
ఉపలోహములు = metalloids
ఉరువు = size = volume
ఉష్ణ వాహకత = heat conductivity
ఊర్ధ్వ భ్రమణం = spin-up

ఏకస్థాని = isotope
ఏకాంతర = alternate
ఏకీకరణ = unification

కంపనం = vibration
కణిక = nucleus
కదలిక = motion
కమ్మటం = smelters
కర్పరాలు = shells
కర్బనితములు = carbonates
కరుగు = melt; dissolve
కర్రి కాయ = black boday
కర్రి బిలం = black hole
కలన గణితం = calculus
కళ = phase
కాంతి సంవత్సరాల = light years
కాకళగ్రంధి = thyroid gland
కావిరి = vapor

కిరణ వారం = beam of light rays
కిలుం = verdigris
క్షీరసాగరం = Milky Way galaxy
కృష్ణ పదార్థం = dark matter
కృష్ణ శక్తి = dark energy

కేంద్రకం = nucleus
క్షయీకరించడం = reduction
క్షేత్రం = field
కొలతాంశం = measurement
ఖనిజములు = ores

గంధకితములు = sulpfates
గంధకిదములు = sulfides

గతి = orbit
గతిజ శక్తి = kinetic energy
గర్త = trough
గరిమ = mass
గాజు = glass; bangle
గాలిమర = windmill
గురుత్వ కటకాలు = gravitational lenses
గురుత్వ తరంగాలు = gravitational waves
గురుత్వాకర్షణ = gravity
గురుత్వాకర్షక బలం = gravitational force
గుళిక వాదం = Quantum Theory
గుళిక భౌతిక శాస్త్రం = quantum physics
గుళిక యంత్ర శాస్త్రం = quantum mechanics
గుళిక క్షేత్ర వాదం = Quantum Field Theory
గ్రేఫైట్ = graphite
ఘాతీయ సంకేతనం = exponential notation

చతుర్మితీయ స్థల-కాల సమవాయం = four-dimensional space-time continuum
చతుష్ఫలకం = tetrahedron
చలన శక్తి = kinetic energy
చేతస్సు = consciousness
జంట-చిల్లుల ప్రయోగం = double-slit experiment
జమిలి సమీకరణాలు = simultaneous equations
జనకస్థానం = source
జవాతిశయ భౌతిక శాస్త్రం = High-energy Physics

డోలన పరిమితి = amplitude

తగరం = tin
తరంగం = wave
తరంగదైర్ఘ్యం = wavelength
తరంగ ప్రమేయం = wave function
తరంగం పొడుగు = wavelength
తరంగపు సంఖ్య = wave number
తరచుదనం = frequency
తళుకు = luster
త్వరణం = acceleration
తాంతవత - ductility
తాపగతిశాస్త్రం =thermodynamics
తాపోగ్రత = temperature
తామ్ర కర్బనితం = copper carbonate
త్రాణిక బలం = strong force
తీవ్రత = intensity
తెంపు = discontinuity
తేజాణువు = photon
తేజో విద్యుత్ ప్రభావం = photoelectric effect

దుర్భేద్యమైన గోడలు = impenetrable barriers
దూరం = distance
దూరం నుండి ఆకర్షించడం = action at a distance
దీప్తి = luminosity
దృశ్య వికీర్ణం = visible radiation
ధనావేశము = positive charge

నత్రజని = nitrogen
నాడీమూర్తులు = pulsars
నిజ సంఖ్యలు = real numbers
నిస్త్రాణిక బలం = weak force
నిస్త్రాణిక సంకర్షణ = weak interaction
నిరూపక బంధం = coordinate bond
నిరూపకాలు = coordinates
నిలకడ తరంగాలు = standing waves
న్యూటన్ గమన సూత్రాలు = Newton's Laws of Motion
న్యూటనిక యంత్రశాస్త్రం = Newtonian mechanics
నేపథ్య వికీర్ణం = background radiation

పత్తాసులు = detectors
పదాలు = terms
పదార్థం = matter
పదార్థ రేణువులు = matter particles
పని = work
పరమాణువు = sub-atomic particle
పరారుణ = infrared
పరిశీలకులు = observers
పసికమ్మి = antenna
ప్రజ్ఞానం = consciousness
ప్రతిపదార్థం = antimatter
ప్రత్యేక సాపేక్ష వాదం = Special Theory of Relativity

ప్రదక్షణం = revolution
ప్రసరణ = divergence
ప్రక్షేపము = projection
ప్రయోగాలు = experiments
పాటవం = power
ప్రాథమిక రేణువులు = Elementary Particles
పీడనం = pressure
పొందిక = coherence
పొగ పత్తాసులు = smoke detectors
పోగుల వాదాలు = String Theories
ప్రోద్ధుత వికీర్ణం = ionizing radiation

బణువు = molecule
బలం = force
బలపు రేఖలు = lines of force
బాహ్య కర్పరం = outer shell
బాహుబలం = valency
బిగ్గతనం = loudness
బృహత్ విస్ఫోటన వాదం = The Big Bang Theory
బృహన్నవ్యతార = supernova
బోల్ట్^జ్మన్ స్థిరాంకం = Boltzmann constant
భస్మం = oxide
భ్రమణం = rotation; spin
భారవేగం = momentum
భాస్వరము = phosphorous

మగ్నము = magnesium
మరణస్థానాలు = sinks
మోటురేణువులు = hadrons

యంతరపి = entropy
యథాస్థితి వాదం = Steady State Theory
రజత గంధకిదము = silver sulfide
రవిజని = helium
రవిసమీపబిందువు = perihelion
రేణువు = particle
రేణు త్వరణులు = Particle accelerators
లోహము - metal

వక్రత = curvature
వర్ణమాల = spectrum
వ్యవస్థ = system
వాదాలు = theories
వాలుదనం = slope
వాహకత = conductivity
వ్యాసం = diameter
వికిరణం = radiation
వికిరణ రేణువులు = radiation particles
వికీర్ణం = radiation
విగతి = orbital
వితరణ = distributeion
విద్యుత్ ఆవేశం = electric charge
విద్యుత్ ప్రవాహం = electric current
విద్యుత్ వాహకత = electrical conductivity
విద్యుత్ అయస్కాంత తరంగాలు = electromagnetic waves
విద్యుత్ చలన శాస్త్రం = electrodynamics
విద్యుదయస్కాంత బలం = electromagnetic force.
విద్యుదయస్కాంత తత్త్వం = electromagnetism
విద్యుదయస్కాంత వికిరణం = electromagnetic radiation
వివిక్తం = isolated
వియుక్త ఉహనం = abstract concept

విశిష్ట గురుత్వం = specific gravity
విశిష్టస్థితి = singularity
విశ్వోద్భవ శాస్త్రం = cosmology
వెలుగు = light
వేగం = velocity
వేడి = heat

శక్తి = energy
శక్తి నిత్యత్వ నియమం = law of conservation of energy
శక్తి స్థావరాలు = energy levels
శబ్దం = sound
శాస్త్రీయ సంకేతనం = scientific notation
శిఖ = crest
శ్వేత కుబ్జతారలు = white dwarfs
సంక్లిష్ట రాసి = complex variable
సంక్లిష్ట సంయోజితాలు = complex compoundss
సంభావ్య వాదం = probability theory
సంయోగధాతువు = alloy
సంవహనం = conduction
సంవృత ప్రదేశం = closed enclosure
సత్వం = strength
సమపంపకం = equipartition
సమాంతర విశ్వాలు = parallel universes
సజాతీయం = homogeneous
సర్పిలాకారం = spiral shape
స్పటిక జాలకం = crystal lattice
స్థలం = space
స్థలకాలం = spacetime
సాంకేతికం = technology
సాంద్రత = density

సాధారణ సాపేక్ష వాదం = General Theory of Relativity
సాపేక్షవాదం = Theory of Relativity
సాపేక్ష గుళిక వాదం = Relativistic Quantum Theory
సాముదాయిక లక్షణం = collective property
సాయకం = vector
స్థానం = position
స్థానభ్రంశము = displacement
స్థాపత్యం = engineering
స్థితి = state
స్థితి శక్తి = potential energy
సీసం - lead
సుడి = curl
సుతిమెత్తని = malleable
సుర్మా = antimony
సూక్ష్మతరంగ వికీర్ణం = microwave radiation
స్థూల స్థితి = macro state
స్ఫురణ ప్రయోగం = thought experiment
సూక్ష్మ స్థితులు = micro states
సౌష్ఠవం = symmetry
హంస రాసి = Cygnus constellation
హఠాదుత్పన్న లక్షణం = emergent property
హేమిల్టన్ కారకం = Hamiltonian operator

20. వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు తెలుగు పుస్తకాలు

1. English-Telugu & Telugu-English Dictionary & Thesaurus, Asian Educational Services, New Delhi, 2002. ఈ నిఘంటువుని తెలుగు వికీపీడియాలో, వికీబుక్స్ లో ఉచితంగా కూడ సంప్రదించవచ్చు.
    (a) Vemuri Dictionary Short URL
    https://tinyurl.com/Vemuri-Dictionary
    (b) PDF copies of all the books listed below are available for FREE download at http://www.maganti.org/ click on వ్యాసావళి

2. జీవరహస్యం, ప్రతులు అలభ్యం
3. రసగంధాయ రసాయనం, ప్రతులు అలభ్యం
4. అమెరికా అనుభవాలు, ఎమెస్కో , ప్రతులు అలభ్యం
5. కించిత్ భోగో భవిష్యతి, (వైజ్ఞానిక కథలు),
6. అలనాటి అమెరికా అనుభవాలు,
7. జీవనది: రక్తం కథ
8. నిత్యజీవితంలో రసాయనశాస్త్రం
9. విశ్వస్వరూపం
10. ప్రాణి ఎలా పుట్టింది?
11. మహాయానం, (వైజ్ఞానిక కల్పనలు)
12. తెలుగులో కొత్త మాటలు
13. ఒకటి, రెండు, మూడు, … అనంతం
14. మన నాయకులకి కావలసిన భౌతిక శాస్త్రం
15. రామానుజన్ నుండి ఇటూ అటూ
16. ఫెర్మా చివరి సిద్ధాంతం
17. చుక్కల్లో చంద్రుడు: చంద్రశేఖర్ చరిత్ర
18. గ్రీసు దేశపు పురాణ కథలు
19. ఎం? ఎందుకని? సిగ్గెందుకని?

వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు జీవిత సంగ్రహం

భారతదేశంలో తుని, మచిలీపట్నం, కాకినాడలలో విద్యాభ్యాసం. ఉన్నత విద్యకి 1961 లో అమెరికా ప్రయాణం. ప్రస్తుతం యూనివర్సిటీ ఆఫ్ కేలిఫోర్నియా, డేవిస్ కేంద్రంలో విశ్రాంత ఆచార్యులు. నివాసం ప్లెజంటన్, కేలిఫోర్నియాలో. సైన్సు విషయాల మీద విశేషంగా తెలుగులో రాసేరు. యూనివర్సిటీ ఆఫ్ కేలిఫోర్నియా, బర్క్లీ కేంద్రంలో తెలుగు పీఠం స్థాపించడానికి 2006 నుండి అవిరామంగా పాటుపడుతున్నారు. శాశ్వత నిధి 2022 నాటికి $550,000 చేరుకుంది.